

3305-3176

Neue Bezeichnung: INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY

Hoffend

Untersuchungen
über das
Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton-Plattenstreifen,
bewehrt mit geschweißten Bewehrungsmatten

(Zusatzuntersuchungen zu: Stahlbetondurchlaufkonstruktionen unter
Feuerangriff bei Variierung von Stahlart und -güte der Biegezugbe-
wehrung im Stützenbereich)

Bericht
erstattet von
Dipl.-Ing. F. Hoffend

Mai 1979

Die Untersuchungen wurden im Auftrage des Innenministers des Landes Nordrhein-
Westfalen (Az. V b 1 - 72.02 - Nr. 40/76 Teil II) durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>1. Einleitung</u>	1
1.1 Allgemeines.	1
1.2 Aufgabenstellung	1
<u>2. Versuchsprogramm</u>	1
2.1 Versuchsbeschreibung	
2.1.1 Belastung und System	2
2.1.2 Versuchskörper und Meßstellen.	3
<u>3. Baustoffe</u>	6
3.1 Beton.	6
3.2 Bewehrungsstahl.	8
3.2.1 Betonstahlmatten	8
3.2.2 Einzelstabbewehrung.	8
<u>4. Versuchsdurchführung</u>	10
4.1 Versuchsbeobachtungen.	10
<u>5. Versuchsergebnisse</u>	17
5.1 Auswertung der Meßergebnisse	17
5.1.1 Hersteller	17
5.1.2 Rißbildung	18
5.1.2.1 bei Verwendung geschweißter Betonstahl-	
matten	18
5.1.2.2 bei Verwendung von Einzelstabbewehrung	18
5.1.3 Dehnverhalten der Längsbewehrung	19
5.1.3.1 bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten	19
5.1.3.2 bei Verwendung von Einzelstabbewehrung	19
5.1.4 Bruchverhalten der Stahlbetonplattenstreifen	20
5.1.4.1 bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten	20
5.1.4.2 bei Verwendung von Einzelstabbewehrung	20
5.2 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	21
5.2.1 bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten	21
5.2.2 bei Verwendung von Einzelstabbewehrung	23
<u>6. Wertung.</u>	23
6.1 Zugkraft der Bewehrung zwischen den Rissen	24
6.2 Plastische Rotation bei Bruch der Biegezugbewehrung.	26
<u>7. Zusammenfassung</u>	30
<u>8. Literaturverzeichnis</u>	

Verzeichnis der Zeichnungen und Tabellen

Bild 1:	Prüfkörper, Schal- und Bewehrungsplan, Lage der Meßstellen für die Versuche A 1 ÷ A 18	Seite 4
Bild 2:	Prüfkörper, Schal- und Bewehrungsplan, Lage der Meßstellen für die Versuche E 19 und E 20	Seite 5
Tabelle 1:	Mischungsverhältnisse und Betongüten	Seite 6
Tabelle 2:	Abmessungen, Kennwerte für Stahl und Beton, Schnittgrößen	Seite 7
Tabelle 3:	Ergebnisse aus Prüfungen nach DIN 488 Blatt 5 für gerippte Betonstahlmatten	Seite 9
Tabelle 4:	Versuchsbeobachtungen	Seite 10
Bild 3:	Zugkraft der Bewehrung zwischen den Rissen in Abhängigkeit vom Bewehrungsgehalt	Seite 25

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1:	Fotos zum Versuchsaufbau und von den Prüfkörpern nach dem Versuch
Anlage 2:	Durchbiegungen der Prüfkörper
Anlage 3:	Stahldehnungen
Anlage 4:	Betonranddehnungen
Anlage 5:	Betonrandstauchungen

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig führte in den vergangenen Jahren bereits eine Anzahl von Versuchen durch zur Erforschung des Tragverhaltens von durchlaufenden Stahlbeton-Plattenstreifen unter Brandbeanspruchung.

Die letzte Versuchsreihe unter dem Titel "Stahlbetondurchlaufkonstruktionen unter Feuerangriff bei Variierung der Stahlart und -güte der Hauptzugbewehrung im Stützenbereich" zeigte, daß mit geschweißten Betonstahlmatten bewehrte Querschnitte im Stützenbereich wiederholt vorzeitig schon bei Stahltemperaturen unter 100 °C im Bereich eines einzelnen breiten Risses durch Bruch der Bewehrung versagten.

1.2. Aufgabenstellung

Da in diesem Temperaturbereich keine nennenswerte temperaturbedingte Änderung der Materialeigenschaften von Stahl 50/55 RK vorliegt, ist es naheliegend, diesen Sachverhalt unter "normaler Temperatur" an Einfeldplattenstreifen eingehender zu untersuchen. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, Einflüsse aus Herkunft, Stabdurchmesser und Querstababstand von geschweißten Betonstahlmatten auf das Dehn- und Bruchverhalten an den obengenannten Prüfkörpern zu studieren, um gegebenenfalls anhand der Versuchsergebnisse die Konstruktionsrichtlinien nach DIN 4102 Teil 4 zu verbessern.

2. Versuchsprogramm

Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Prüfkörper: 20 Stahlbetonplattenstreifen (Betongüte B 35) mit den Abmessungen $l/b/d = 260/40/16$ cm
- Bewehrung: Betonstahlmatten BST 50/55 RK mit drei verschiedenen Durchmessern der Längsstäbe und je zwei verschiedenen Querstababständen (siehe Tabelle 3). Der Abstand der Längsstäbe war bei allen Mattentypen konstant. Dies entsprach den Bewehrungsgehalten von ungefähr $\mu_o = 0,2, 0,6$ und $1,4$ %.
Einzelstabbewehrung BST 50/55 RK mit 2 verschiedenen Durchmessern und gleichen Querstababständen.
Bewehrungsgehalt $\mu_o = 0,229$ bzw. $0,442$ %.

- Hersteller: Im 1. Abschnitt wurden 12 Prüfkörper mit Betonstahlmatten von 2 Herstellern und je 6 verschiedenen Mattentypen hergestellt und geprüft.

Hersteller A: Baustahlgewebe GmbH

Hersteller B: Weihrauch-Betonstahlmatten

Im 2. Abschnitt wurden 6 Prüfkörper, bewehrt mit Betonstahlmatten des Herstellers A, hergestellt und geprüft.

Im 3. Abschnitt wurden 2 weitere Prüfkörper, mit Einzelstabbewehrung des Herstellers A, hergestellt und geprüft.

- Künstlicher Riß: Bei den im 1. Abschnitt geprüften Stahlbetonplattenstreifen war in Feldmitte zur Begünstigung eines einzelnen Risses im Bereich der maximalen Biegezugspannungen ein künstlicher Riß durch Einbetonieren eines 1,0 mm dicken Blechstreifens vorgegeben. Die 8 restlichen Stahlbetonplattenstreifen im 2. und 3. Versuchsabschnitt wurden ohne Rißvorgabe geprüft

Nach Auswertung der 12 Versuche des 1. Versuchsabschnittes wurde für die restlichen 8 Versuche des 2. und 3. Versuchsabschnittes auf die Vorgabe eines künstlichen Risses in Plattenmitte verzichtet, da diese Maßnahme keinen Einfluß auf die Rißverteilung und die Bruchlast erkennen ließ.

Da die Betonstahlmatten eines dritten Herstellers nicht fristgemäß geliefert werden konnten, wurde - um keine weitere Verzögerung in der Versuchsdurchführung in Kauf nehmen zu müssen - der zweite Versuchsabschnitt wieder mit Betonstahlmatten des Herstellers A durchgeführt.

2.1. Versuchsbeschreibung

2.1.1. Belastung und System

Zur Erzeugung einer reinen Momentenbelastung in Plattenstreifenmitte wurden die Betonplattenstreifen bei den ersten 3 Versuchen auf zwei symmetrisch zur Prüfkörpermitte angeordneten Rollenlager aufgelegt und an den Kragarmenden mit je einer Einzellast = halbe Pressenkraft belastet (vergl. Tabelle 2).

Ab Versuch 4 wurden die 2 Rollenlager durch eine 11,5 cm breite mittlere Auflagerung ersetzt und somit eine gute Übereinstimmung des Momentenbildes dieser Versuche mit den Momentenverläufen über dem mittleren Auflager bei den Versuchen an Stahlbeton-Durchlaufkonstruktionen unter Feuerangriff erzielt.

Die Pressenkräfte wurden über eine Lasttraverse als Kragarmkräfte aufgebracht. Das Eigengewicht der Plattenstreifen und der Lasttraverse wurden ermittelt und bei den Auswertungen berücksichtigt.

2.1.2 Versuchskörper und Meßstellen

Die Betonabmessungen der Plattenstreifen betrugen $l/b/d = 2,60/0,40/0,16$ m. Die Betonstahlmattenbewehrung wurde mit 2 cm Überdeckung eingebracht und bestand aus 4 Doppellängsstäben mit 100 mm Längsstababstand. Die Querstababstände betrugen jeweils 100 bzw. 250 mm. Ein Querstab war genau in Plattenmitte angeordnet. An den Außenseiten der beiden mittleren Doppelstäbe waren in Plattenstreifenmitte und je 15 cm links und rechts davon Dehnmeßstreifen vom Typ LY 11 6/120 bzw. LY 11 1,5/120 seitlich angeklebt.

Die Einzelstabbewehrung wurde ebenfalls mit 2 cm Überdeckung eingebracht und bestand aus 5 Längsstäben mit 80 mm Längsstababstand. Die Querstababstände betrugen 250 mm, der Querstabdurchmesser 6 mm. Im Lasteinleitungsbereich waren jeweils 2 Querstäbe als Zulage angeordnet. Die Dehnmeßstreifen vom Typ PY 11 6/120 waren mit der Anordnung an den Betonmatten identisch.

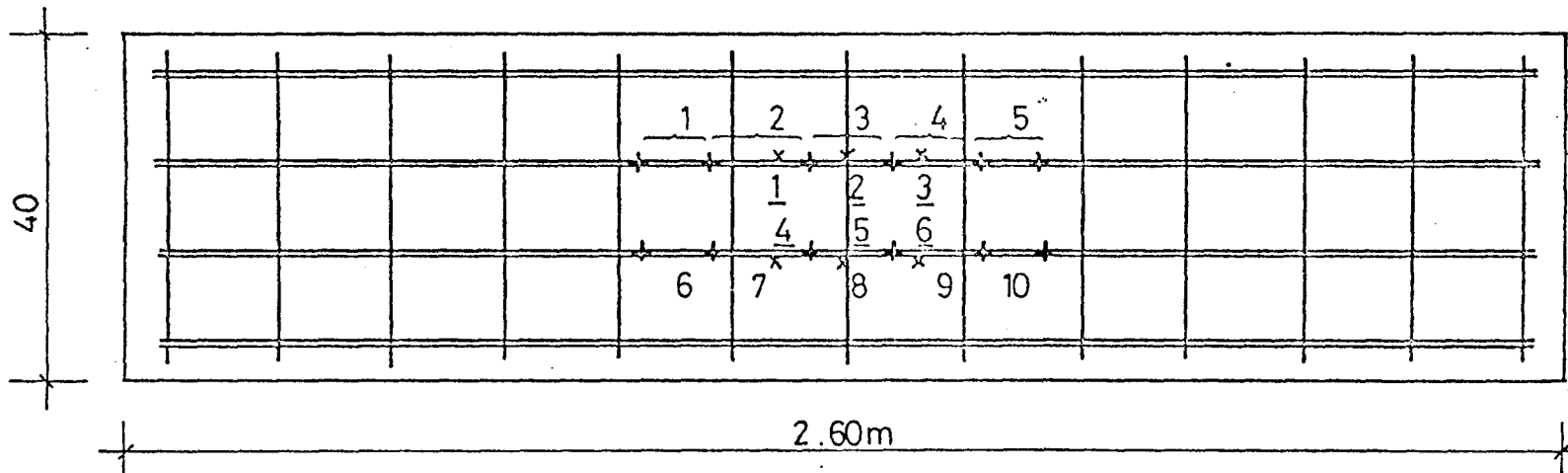
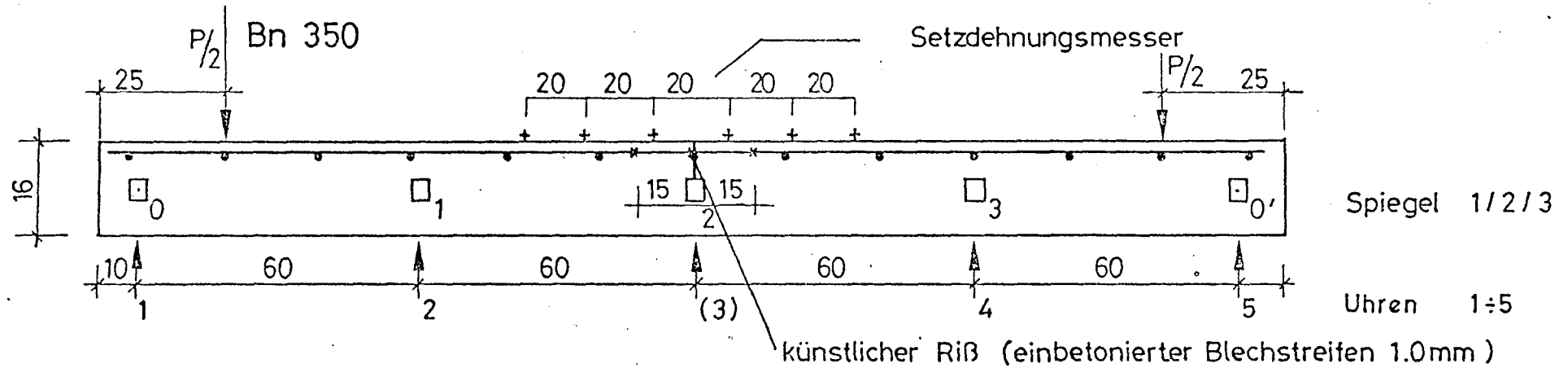
Die Betonranddehnungen im Auflagerbereich auf der Zugseite wurden mit Hilfe eines mechanischen Setzdehnungsmessers (Meßlänge = 200 mm) an 2 x 6 symmetrisch zur Plattenmitte über den beiden mittleren Längsstäben der Mattenbewehrung angebrachten Meßnippeln für jede Laststufe gemessen.

Bei den beiden Ergänzungsversuchen mit Einzelstabbewehrung wurden zusätzlich die Betonrandstauchungen an je 4 Meßstellen mit Dehnmeßstreifen von Typ LP 21 60/120, 15 cm rechts und links von der Plattenmitte (Auflagerbereich) gemessen.

Verformungen der Plattenstreifen wurden je Laststufe an der Plattenunterseite in den Viertelpunkten mit Meßuhren gemessen. Ab Versuch 4 entfiel die Uhr in Plattenmitte (Auflagerbereich).

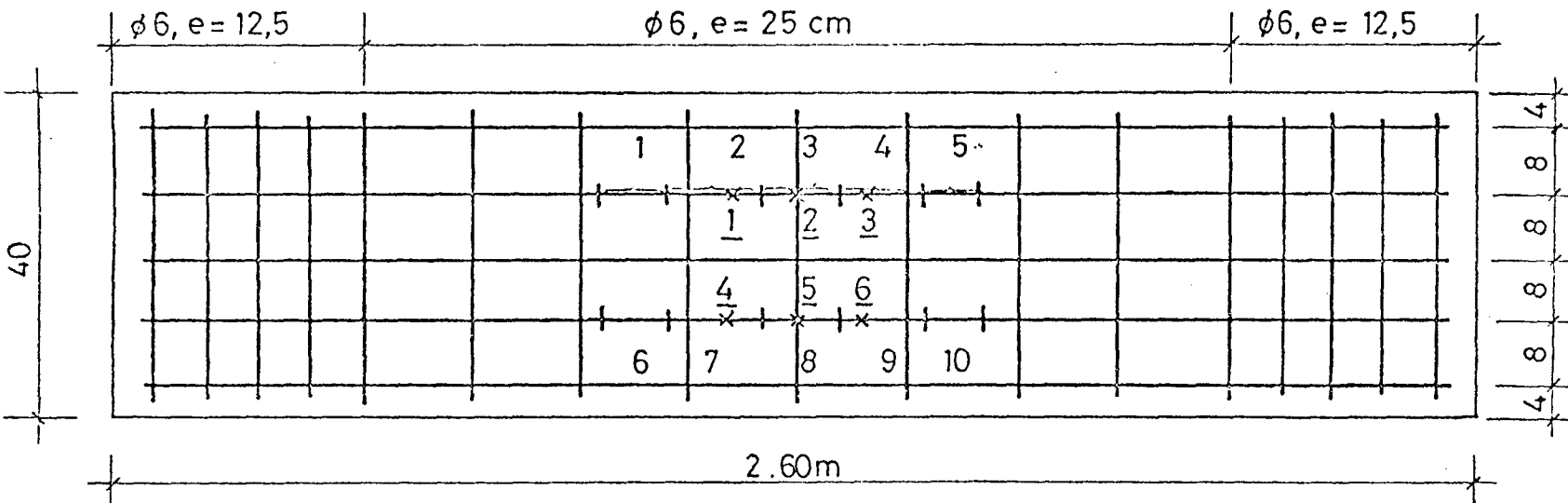
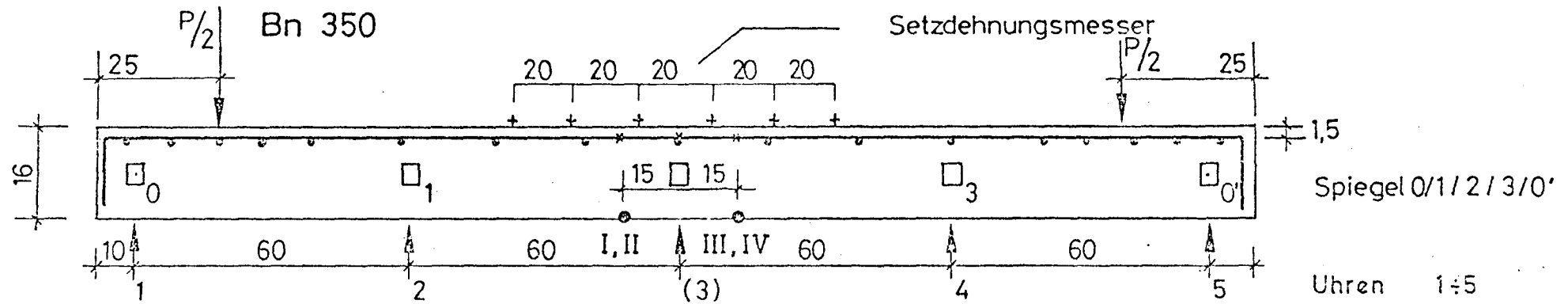
Zur Kontrolle wurde ebenfalls in den Viertelpunkten an seitlich in halber Plattendicke angebrachten Spiegeln mittels einer gespannten Schnur eine weitere Verformungsmessung durchgeführt.

18 Prüfkörper mit Betonstahlmattenbewehrung BSt 50 / 55 RK



- \times 1 ÷ 6 Dehnmeßstreifen seitlich an den Längsstäben befestigt LY 11 6/120 (1,5 / 120)
- \pm 1 ÷ 10 Setzdehnungsmesser (Betonranddehnung)

2 Prüfkörper mit Einzelstabbewehrung BSt 50/55 RK



x 1 ÷ 6 Dehnmeßstreifen seitlich an den Längsstäben befestigt LY 11 6 / 120

± 1 ÷ 10 Setzdehnungsmesser (Betonranddehnung)

Bild 2

http://www.digibib.tu-berlin.de/dfv/cid=0004246v1 1. IV 4 Meßstreifen entsprechend 1,3,4,6 auf Beton LP 21 60 / 120

3. Baustoffe

3.1 Beton

Der Beton für die Versuchskörper wurde im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der T.U. Braunschweig hergestellt und sollte jeweils der Güteklasse B 35 entsprechen. In der folgenden Tabelle sind die Betonzusammensetzung, das Wasser-Zement-Verhältnis, die Festigkeitswerte und der E-Modul nach 28 Tagen zusammengestellt.

Tabelle 1 : Angaben über den Baustoff Beton

Versuch	Zuschlagstoffe in %				Bindemittel		W/Z	$\beta_{WN\ 28}$	$\beta_{WS\ 28}$	$\beta_{C\ 28}$	$\beta_{SPZ\ 28}$	$E_D/10^3$
	0 ÷ 1	0 ÷ 2	2 ÷ 8	8 ÷ 16	Art	Menge [kg/cm³]						
A1 ÷ A3	2	51	22	25	PZ 350F	318	0,65	36,0	37,2	31,0	2,88	2,75
A4 ÷ A6	"	"	"	"	"	319	"	34,6	37,2	-	-	-
B7 ÷ B9	"	"	"	"	"	320	"	36,9	38,2	32,4	2,48	28,8
B10 ÷ B12	"	"	"	"	"	318	"	39,6	40,9	33,4	2,84	28,2
A13, A14	"	"	"	"	"	320	"	36,0	39,7	33,5	2,89	27,7
A15 ÷ A16	"	"	"	"	"	319	"	32,0	33,6	31,9	2,65	28,3
A17 ÷ A18	"	"	"	"	"	320	"	44,9	46,2	40,2	2,81	29,3
E19 ÷ E20	"	"	"	"	"	320	"	45,0	47,5	-	-	-

Zusätzlich wurden für alle Versuche, die nicht am 28. Tag nach der Betonherstellung ausgeführt wurden, eine Überprüfung der Betonkennwerte am Versuchstag durchgeführt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Abmessungen, Spannungen, Schnittgrößen

Ver- such	System (L=2,50m)	b/d/h [cm]	$\bar{\epsilon}_{FeL}$ [‰]/[cm ²]	Maschen [mm]	μ_{Fe} Fe/Fb	σ_s N/mm ²	σ_B N/mm ²	σ_w N/mm ²	σ_c N/mm ²	σ_{Bz} N/mm ²	M_{Rig} [kNm]	M_{Flieg} [kNm]	M_{Bruch} [kNm]	175M _{zul} [kNm]	M _{Verst} [kNm]
A1		40/16/13,95	4,5d/4,0 1,275	100/100	0,204	614,1	634,0	37,2	31,0	2,59	4,73	10,57	11,00	8,47	10,59
A2		40/16/14,00	4,5d/4,5 1,309	100/250	0,204	616,6	639,7	40,3	33,6	2,84	5,00	10,75	11,13	..	12,48
A3		40/16/14,20	8,0d/7,0 4,033	100/100	0,628	651,6	690,2	40,3	33,6	2,84	5,33	33,69	35,82	21,95	38,47
A4		40/16/14,15	8,0d/8,0 4,007	100/250	0,625	658,7	686,3	38,1	32,2	2,73	5,12	33,93	35,27	..	37,60
A5		40/16/13,80	12,0d/10,0 8,976	100/100	1,401	510,1	594,3	38,1	32,2	2,73	5,59	54,46	61,66	51,55	63,05
A6		40/16/13,80	12,0d/12,0 8,368	100/250	1,410	504,5	578,0	38,1	32,2	2,73	5,58	54,22	60,39	..	64,42
B7		40/16/14,275	4,5d/4,0 1,261	100/100	0,194	589,8	628,3	38,2	32,4	2,74	4,81	9,98	10,52	8,47	11,29
B8		40/16/14,375	4,5d/4,5 1,245	100/250	0,194	592,8	630,8	39,0	32,4	2,78	4,89	10,10	10,74	..	12,95
B9		40/16/14,125	8,0d/7,0 4,016	100/100	0,585	573,6	627,8	38,8	32,4	2,77	5,13	27,97	30,48	21,95	33,11
B10		40/16/14,15	8,0d/8,0 3,984	100/250	0,584	584,5	630,7	40,9	33,4	2,87	5,33	28,43	30,61	..	31,46
B11		40/16/13,80	12,0d/10,0 9,320	100/100	1,465	540,8	606,5	39,9	33,4	2,82	5,77	59,62	65,84	51,55	64,50
B12		40/16/13,80	12,0d/12,0 9,352	100/250	1,458	524,1	592,5	40,8	33,4	2,86	5,86	57,89	63,99	..	64,50
A13		40/16/14,225	4,5d/4,0 1,275	100/100	0,204	614,1	634,0	38,8	33,5	2,77	4,89	10,91	11,25	8,47	12,35
A14		40/16/14,225	4,5d/4,5 1,309	100/250	0,204	616,6	639,7	37,9	33,5	2,72	4,80	10,92	11,32	..	11,08
A15		40/16/14,00	8,0d/7,0 4,033	100/100	0,628	651,6	690,2	39,2	31,9	2,79	5,24	33,30	35,24	21,95	32,49
A16		40/16/14,10	8,0d/8,0 4,007	100/250	0,625	658,7	686,3	38,2	31,9	2,74	5,16	33,77	35,15	..	33,05
A17		40/16/13,80	12,0d/10,0 8,976	100/100	1,401	510,1	594,3	45,9	40,2	3,09	6,23	55,84	63,29	51,55	61,78
A18		40/16/13,80	12,0d/12,0 8,368	100/250	1,410	504,5	578,0	47,1	40,2	3,15	6,34	55,50	62,85	..	63,77
E19		40/16/14,00	6,0d/6,0 1,464	e _L = 80 e _B = 250	0,229	554,3	611,3	47,5	—	3,16	5,57	10,79	11,90	9,31	14,33
E20		40/16/14,00	8,5d/6,0 2,831	e _L = 80 e _B = 250	0,442	561,1	634,7	47,5	—	3,16	5,74	20,78	23,39	18,32	25,44

3.2 Bewehrungsstahl

3.2.1 Betonstahlmatten

Die Betonstahlmattenbewehrung sowie sämtliche Stahlproben wurden aus dem mittleren Drittel der jeweiligen Listenmatte mit den Abmessungen 2,45 x 3,00 m entnommen.

Mit Ausnahme der Prüfung unter häufig wiederholter Belastung wurden alle Prüfungen nach DIN 488 Blatt 5 für profilierte und gerippte Betonstahlmatten durchgeführt. Darüberhinaus wurde die Elastizitätsgrenze $\sigma_{0,01}$, die Gleichmaßdehnung δ_g , der E-Modul und die Einbrenntiefe an den Schweißstellen an jeweils 3 Proben pro Mattentyp untersucht (siehe Tabelle 3).

Bei den Rückbiegeversuchen gab es keine Beanstandungen; sämtliche Proben ließen nach Prüfung der Widerstands-Punktschweißung kleine Anrisse in der Schweißstelle erkennen, die jedoch nach DIN 488 Blatt 5 unbedenklich sind.

Eine Übersicht der verschiedenen Kennwerte ist in Tabelle 3 wiedergegeben.

3.2.2 Einzelstabbewehrung

Bei den Einzelstäben BST 50/55 RK wurden die Streckgrenze, die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung sowie die Gleichmaßdehnung an je 3 Proben ermittelt.

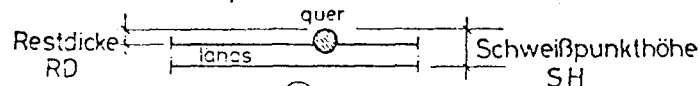
\varnothing	σ_s	σ_{Br}	δ_5	δ_{10}	δ_g
mm	N/mm ²	N/mm ²	%	%	%
6	554,3	611,3	17,9	12,2	4,1-5,1
8,5	561,1	634,7	18,1	12,7	6,3-8,9

Tabelle 3: Angaben zur Betonstahlmattenbewehrung Bst 50 / 55 RK

Ver- such	Fe _L	Fe _Q	Masche mm	fr %	Einschnürung		SH mm	RD mm	Einbrenntiefe		σ _{0,01} N/mm ²	σ _s N/mm ²	σ _{Br} N/mm ²	δ ₁₀ %	δ _g %	E-Mod /10 ⁵ N/mm ²
	ø [mm] cm ²	Fe _L			Fe _Q	①			②							
		ø [mm]														
A 1	4,51d 0,1594	4,04 0,1279	100 / 100	4,87	3,50 / 3,31	3,48 / 3,27	7,84	3,27	0,79	0,78	604,3	614,1	634,0	12,4	3,80- 4,82	2,033
A 2	4,57d 0,1637	4,46 0,1568	100 / 250	4,97	3,34 / 3,29	3,20 / 3,77	8,41	3,81	0,69	0,70	591,1	616,6	639,7	12,9	5,64- 6,70	2,080
A 3	8,01d 0,5042	7,14 0,4000	100 / 100	6,80	5,42 / 5,68	5,09 / 4,87	14,02	5,96	1,06	1,08	625,5	651,6	690,2	9,6	2,66- 5,40	1,980
A 4	7,99d 0,5009	7,98 0,5003	100 / 250	6,63	5,75 / 5,89	5,71 / 5,39	15,00	6,85	1,04	1,16	616,0	658,7	686,3	9,7	4,40	1,964
A 5	11,96d 1,1220	9,99 0,7839	100 / 100	7,10	10,15 / 10,04	7,58 / 7,89	20,89	8,93	1,07	1,14	442,7	510,1	594,3	8,4	4,11- 7,30	1,983
A 6	11,95d 1,1210	11,96 1,1226	100 / 250	7,10	10,06 / 9,87	9,94 / 9,59	22,58	10,70	1,37	1,37	431,3	504,5	578,0	9,5	3,00- 5,40	1,950
B 7	4,48d 0,1577	4,07 0,1298	100 / 100	6,43	3,38 / 3,66	3,21 / 2,83	7,66	3,24	0,79	0,85	559,1	589,8	628,3	12,7	5,60- 7,07	1,955
B 8	4,45d 0,1558	4,47 0,1566	100 / 250	6,57	3,43 / 3,50	3,88 / 3,79	8,23	3,71	0,76	0,70	561,3	592,8	630,8	13,3	4,70- 5,18	2,016
B 9	8,00d 0,5021	7,03 0,3880	100 / 100	7,20	6,95 / 6,79	5,14 / 4,89	13,89	6,20	0,79	0,83	541,9	573,6	627,8	9,5	4,80- 7,05	1,943
B 10	7,95d 0,4956	8,04 0,5069	100 / 250	6,60	6,49 / 6,58	6,79 / 7,18	15,04	7,32	0,73	0,79	572,7	584,5	630,7	9,0	4,00- 5,00	1,960
B 11	12,18d 1,1650	10,08 0,7971	100 / 100	6,63	10,27 / 9,97	8,85 / 7,63	21,29	8,91	1,19	1,11	487,8	540,8	606,5	10,4	6,00- 7,05	1,992
B 12	12,20d 1,1690	12,13 1,1543	100 / 250	6,97	10,37 / 10,01	10,04 / 9,59	22,54	10,54	1,46	1,53	447,9	524,1	592,5	8,7	2,33- 6,80	2,018

A13 - A18 entspricht A1 - A6

fr: bezogene Rippenfläche



Einbrenntiefe ①: ø Q - RD

Einbrenntiefe ②: (ø Q + ø L) - SH

A ≙ Baustahlgewebe

B ≙ Wehrauch

4. Versuchsdurchführung

Vor Versuchsbeginn wurden zur besseren Lastverteilung sämtliche Auflagerflächen je Versuchskörper in ein Gipsbett gesetzt und das mittlere Auflager justiert. Nach jeder Laststufe wurden erst nach Stillstand sämtlicher Uhren Stahl- und Betondehnungen aufgenommen sowie Uhren und Spiegel abgelesen. Die Rißentwicklung wurde kontrolliert und sämtliche Beobachtungen protokolliert.

4.1 Versuchsbeobachtungen

Die wesentlichen Beobachtungen während der einzelnen Versuchsabläufe sind in kurzer Form in der folgenden Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Versuchsbeobachtungen

Versuch	Fe, μ_0 , Maschenweite	B e o b a c h t u n g e n
A 1	4,5 d/4,0 0,204 100/100	Ab Laststufe 9 ($M = 3,59 - 3,94$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar. Ab Laststufe 12 ($M = 4,99 - 5,69$ kNm) weitere Haarrisse zwischen den Auflagerpunkten (Auflagerabstand = 1,00 m). Rißabstände und Rißlage entsprechen der Querstabsanordnung (~ 10 cm). Kurz vor dem Versagen Vergrößerung des vorgegebenen Risses. Rißbreite $\leq 0,5$ mm. Schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung am vorgegebenen Riß. Bruchstellen der Längsbewehrung liegen 1 - 2 cm neben Querstabmitte.
A 2	4,5 d/4,0 0,204 100/250	Ab Laststufe 5 ($M = 3,59 - 4,29$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar. Ab Laststufe 7 ($M = 4,99 - 5,69$ kNm) weitere Haarrisse im Bereich der Querstäbe (~ 25 cm) erkennbar. Ab Laststufe 10 ($M = 7,09 - 7,79$ kNm) Ausbildung von Zwischenrissen (10 - 13 cm). Kurz vor dem Versagen Vergrößerung eines Risses 16 - 17 cm rechts neben der vorgegebenen Rißstelle. Rißbreite $\leq 0,5$ mm. Schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung am vergrößerten Riß. Bruchstellen der Längsbewehrung liegen 8 - 9 cm neben Querstabmitte.

Fortsetzung Tabelle 4 siehe folgendes Blatt

Fortsetzung Tabelle 4

Versuch	Fe, μ_0 , Maschenweite	B e o b a c h t u n g e n
A 3	8,0 D/7,0 0,628 100/100	<p>Ab Laststufe 1 ($M = 1,97 - 3,97$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 3 ($M = 5,97 - 7,97$ kNm) weitere Haarrisse im Bereich der Querstäbe (~ 10 cm).</p> <p>Ab Laststufe 17 ($M = 33,97 - 35,97$ kNm) Vergrößerung des vorgegebenen Risses, sowie von 2 weiteren in 10 cm Abstand rechts der Mitte verlaufenden Rissen ($< 0,5$ mm). Gleichzeitig Ausbildung eines seitlichen Risses unter einem Winkel von ~ 25 Grad vom unteren Rand in Plattenmitte (Betondruckzone) nach rechts oben.</p> <p>Versagen durch Herausplatzen des Betondruckkeiles zwischen den Auflagerpunkten (Auflagerabstand 40 cm).</p> <p>Kein Bruch der Längsbewehrung.</p>
A 4	8,0 d/8,0 0,625 100/250	<p>Ab Laststufe 2 ($M = 4,66 - 6,95$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 3 ($M = 6,95 - 9,23$ kNm) weitere Risse im Bereich der Querstäbe erkennbar (~ 25 cm). Bei den folgenden Laststufen Ausbildung von Zwischenrissen (10 - 13 cm).</p> <p>Ab Laststufe 15 ($M = 34,37 - 36,95$ kNm) Vergrößerung des vorgegebenen Risses ($\sim 0,5$ mm). Schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung am vorgegebenen Riß. Bruchstelle der Längsbewehrung ~ 1 cm neben Querstabmitte.</p>
A 5	12,0 d/10,0 1,401 100/100	<p>Ab Laststufe 2 ($M = 4,66 - 8,09$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 3 ($M = 8,09 - 10,95$ kNm) weitere Haarrisse im Abstand von 5 - 10 cm.</p> <p>Ab Laststufe 19 ($M > 53,79$ kNm) erste seitliche Abplatzungen sowie Ausbildung von Haarrissen in Längsrichtung im Bereich der Betondruckzone. Gleichzeitig geringe Vergrößerung des vorgegebenen Risses ($< 0,5$ mm).</p> <p>- Fortsetzung siehe folgendes Blatt -</p>

Fortsetzung Tabelle 4 siehe folgendes Blatt

Fortsetzung Tabelle 4

Versuch	Fe, φ_0 , Maschenweite	B e o b a c h t u n g e n
		<p>Langsames Versagen infolge Zerstörung der Betondruckzone.</p> <p>Bei $M = 63,05$ kNm Rücknahme der Pressenkraft wegen hoher Durchbiegungsgeschwindigkeit des Prüfkörpers.</p>
A 6	<p>12,0 $\bar{\alpha}$/12,0</p> <p>1,410</p> <p>100/250</p>	<p>Ab Laststufe 1 ($M = 2,38 - 5,23$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 4 ($M = 10,95 - 13,80$ kNm) weitere Haarrisse im Abstand von 5 - 10 cm.</p> <p>Nach Laststufe 19 ($M > 56,65$ kNm) erste seitliche Abplatzungen im Bereich der Betondruckzone, sowie geringe Vergrößerung des vorgegebenen Risses ($< 0,5$ mm).</p> <p>Versagen nach Ausbildung eines seitlichen Risses unter einem Winkel von ~ 25 Grad von Auflagermitte (Betondruckzone) nach links oben. Kein Bruch der Längsbewehrung.</p>
B 7	<p>4,5 $\bar{\alpha}$/4,0</p> <p>0,194</p> <p>100/100</p>	<p>Ab Laststufe 2 ($M = 3,52 - 4,66$ kNm) Haarriß an der vorgegeben Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 4 ($M = 5,81 - 6,85$ kNm) weitere Haarrisse im Abstand der Querstäbe (~ 10 cm).</p> <p>Ab Laststufe 6 ($M = 8,09 - 9,23$ kNm) ein zusätzlicher Riß zwischen dem 1. und 2. Haarriß rechts der Mitte.</p> <p>Schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung am vorgegebenen Riß. Bruchstelle der Längsbewehrung $\sim 0,5 - 1,5$ cm neben Querstabmitte.</p>
B 8	<p>4,5 $\bar{\alpha}$/4,5</p> <p>0,194</p> <p>100/250</p>	<p>Ab Laststufe 3 ($M = 3,52 - 4,09$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 8 ($M = 6,38 - 6,85$ kNm) weitere Haarrisse im Abstand der Querstäbe (~ 25 cm).</p> <p>Ab Laststufe 10 ($M = 7,52 - 8,09$ kNm) Zwischenrisse. Rißabstand 10 - 13 cm.</p> <p>Ab Laststufe 14 ($9,80 - 10,38$ kNm) Vergrößerung des vorgegebenen Risses erkennbar ($\sim 0,5$ mm).</p> <p>- Fortsetzung siehe folgendes Blatt -</p>

Fortsetzung Tabelle 4 siehe folgendes Blatt

Fortsetzung Tabelle 4

Versuch	Fe, ρ , Maschenweite	B e o b a c h t u n g e n
		<p>Nach Aufbringung von Laststufe 15 ($M = 10,95 \text{ kNm}$) schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung an vorgegebenen Riß.</p> <p>Bruchstelle der Längsbewehrung $0,5 - 1,5 \text{ cm}$ neben Querstabmitte.</p>
B 9	<p>8,0 d/7,0</p> <p>0,585</p> <p>100/100</p>	<p>Ab Laststufe 2 ($M = 3,52 - 4,86 \text{ kNm}$) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 6 ($M = 8,09 - 9,23 \text{ kNm}$) weitere Haarrisse im Bereich der Querstäbe ($\sim 10 \text{ cm}$).</p> <p>Nach Laststufe 23 ($M > 29,80 \text{ kNm}$) erste seitliche Abplatzungen im Bereich der Betondruckzone sowie Vergrößerung des vorgegebenen Risses und eines 2. Risses 5 cm nach links.</p> <p>Bei $M=30,11 \text{ kNm}$ Rücknahme der Pressenkraft wegen hoher Durchbiegungsgeschwindigkeit des Prüfkörpers. Fortschreitende Zerstörung der Betondruckzone.</p>
B 10	<p>8,0 d/8,0</p> <p>0,584</p> <p>100/250</p>	<p>Ab Laststufe 1 ($M = 2,23 - 4,37 \text{ kNm}$) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 3 ($M = 6,35 - 8,34 \text{ kNm}$) weitere Haarrisse im Abstand von $8 - 10 \text{ cm}$ ($\sim 1/3$ Querstababstand).</p> <p>Ab Laststufe 15 ($M = 29,01 - 30,02 \text{ kNm}$) Vergrößerung des mittleren Risses, sowie erste seitliche Abplatzungen im Bereich der Betondruckzone erkennbar.</p> <p>Versagen nach Ausbildung eines Risses von Auflagermitte (Betondruckzone) nach rechts oben unter einem Winkel von $\sim 60 \text{ Grad}$.</p> <p>Kein Bruch der Längsbewehrung.</p>
B 11	<p>12,0 d/10,0</p> <p>1,465</p> <p>100/140</p>	<p>Ab Laststufe 1 ($M = 2,23 - 5,21 \text{ kNm}$) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 3 ($M = 8,19 - 11,16 \text{ kNm}$) weitere Haarrisse. Rißabstände $\sim 8 \text{ cm}$.</p> <p>- Fortsetzung siehe folgendes Blatt -</p>

Fortsetzung Tabelle 4 siehe folgendes Blatt

Fortsetzung Tabelle 4

Versuch	Fe, μ_0 , Maschenweite	B e o b a c h t u n g e n
		Ab Laststufe 23 ($M = 57,31 - 58,80$ kNm) geringe Vergrößerung des vorgegebenen Risses erkennbar ($< 0,5$ mm). Gleichzeitig erste Haarrisse in der Betondruckzone in Längsrichtung. Versagen nach Ausbildung eines Risses von Auflagermitte (Betondruckzone) nach rechts oben unter einem Winkel von ~ 25 Grad. Kein Bruch der Längsbewehrung.
B 12	12,0 d/12,0 1.458 100/250	Ab Laststufe 1 ($M = 2,23 - 5,21$ kNm) Haarriß an der vorgegebenen Rißstelle erkennbar. Ab Laststufe 3 ($M = 8,19 - 11,16$ kNm) weitere Haarrisse. Rißabstände ~ 8 cm. Ab Laststufe 23 ($M = 57,31 - 58,80$ kNm) geringe Vergrößerung des vorgegebenen Risses erkennbar ($< 0,5$ mm). Gleichzeitig erste Haarrisse in der Betondruckzone in Längsrichtung. Versagen nach Ausbildung eines Risses von Auflagermitte (Betondruckzone) nach links oben unter einem Winkel von ~ 25 Grad. Kein Bruch der Längsbewehrung.
A 13	4,5 d/4,0 0,204 100/100	Ab Laststufe 4 ($M = 5,21 - 6,20$ kNm) erste Haarriß 10 cm links von der Mitte erkennbar. Ab Laststufe 5 ($M = 6,20 - 7,19$ kNm) Vergrößerung des Risses in der Mitte ($\sim 0,5$ mm). Rißabstände ~ 10 cm. Schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung. Bruchstelle der Längsbewehrung 1 - 2 cm neben Querstabmitte.
A 14	4,5 d/4,5 0,204 100/250	Ab Laststufe 4 ($M = 5,21 - 6,20$ kNm) erster Haarriß etwa 12,5 cm rechts von der Mitte erkennbar. Ab Laststufe 5 ($M = 6,20 - 7,19$ kNm) Haarriß in Prüfkörpermitte erkennbar. - Fortsetzung siehe folgendes Blatt -

Fortsetzung Tabelle 4 siehe folgendes Blatt

Fortsetzung Tabelle 4

Versuch	Fe, μ_0 , Maschenweite	B e o b a c h t u n g e n
		<p>Ab Laststufe 6 ($M = 7,19 - 8,19$ kNm) Zwischenrisse. Rißabstände $\sim 11 - 13$ cm.</p> <p>Nach Laststufe 8 ($M > 10,77$ kNm) Vergrößerung des Risses in Prüfkörpermitte ($\sim 0,5$ mm).</p> <p>Schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung. Bruchstelle der Längsbewehrung $2 - 2,5$ cm links neben Querstabmitte.</p>
A 15	8,0 d/7,0 0,628 100/100	<p>Ab Laststufe 3 ($M = 6,20 - 8,19$ kNm) erste Haarrisse in der Mitte und zu beiden Seiten im Abstand von 20 cm erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 4 ($M = 8,19 - 10,18$ kNm) weitere Haarrisse. Rißabstände ~ 10 cm.</p> <p>Ab Laststufe 15 ($M = 30,02 - 32,00$ kNm) Vergrößerung des mittleren Risses ($\sim 0,5$ mm). Kurz vor dem Versagen der Längsbewehrung seitliche Abplatzungen am äußeren Rand der Betondruckzone (~ 2 cm). Bruchstelle der Längsbewehrung $1,5 - 3,0$ cm neben Querstabmitte.</p>
A 16	8,0 d/8,0 0,625 100/250	<p>Ab Laststufe 3 ($M = 6,20 - 8,19$ kNm) erste Haarrisse in der Mitte und zu beiden Seiten im Abstand von ~ 25 cm erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 4 ($M = 8,19 - 10,18$ kNm) weitere Haarrisse. Rißabstände $8 - 9$ cm.</p> <p>Ab Laststufe 15 ($M = 30,02 - 32,00$ kNm) Vergrößerung des mittleren Risses ($\sim 0,5$ mm). Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung im mittleren Riß.</p> <p>Bruchstelle $1 - 2,5$ cm neben Querstabmitte.</p>
A 17	12,0 d/10,0 1,401 100/100	<p>Ab Laststufe 2 ($M = 5,21 - 8,19$ kNm) erster Haarriß in Prüfkörpermitte erkennbar.</p> <p>Ab Laststufe 5 ($M = 14,14 - 17,12$ kNm) weitere Haarrisse. Rißabstände $5 - 10$ cm.</p> <p>Ab Laststufe 19 ($M > 55,83$ kNm) erste seitliche Abplatzungen in der Betondruckzone und geringe Vergrößerung der Risse auf der Bewehrungsseite.</p> <p>- Fortsetzung siehe folgendes Blatt -</p>

Fortsetzung Tabelle 4 siehe folgendes Blatt

Fortsetzung Tabelle 4

Versuch	Fe, μ_0 , Maschenweite	B e o b a c h t u n g e n
		Versagen nach Ausbildung eines Risses von Auflagermitte (Betondruckzone) nach links oben unter einem Winkel von ~ 25 Grad. Kein Bruch der Längsbewehrung.
A 18	12,0 d/12,0 1,410 100/250	Ab Laststufe 2 ($M = 5,21 - 8,19$ kNm) erster Haarriß in Prüfkörpermitte erkennbar. Ab Laststufe 5 ($M = 14,14 - 17,12$ kNm) weitere Haarrisse Rißabstände 5 - 10 cm. Ab Laststufe 19 ($M > 55,83$ kNm) erste seitliche Abplatzungen in der Betondruckzone und geringe Vergrößerung der Risse auf der Bewehrungsseite. Versagen nach Ausbildung eines Risses von Auflagermitte nach links oben unter einem Winkel von ~ 25 Grad. Kein Bruch der Längsbewehrung.
E 19	6,0/6,0 0,229 $e_L = 80$ $e_Q = 250$	Ab Laststufe 3 ($M = 5,70 - 7,44$ kNm) erster Haarriß in Prüfkörpermitte erkennbar. Ab Laststufe 4 ($M > 7,44$ kNm) weitere Haarrisse rechts und links des mittleren Risses. Rißabstände 6-12 cm. Nach Laststufe 6 ($M = 12,64$ kNm) Vergrößerung des mittleren Risses auf 0,56 mm Rißbreite. Nach weiterer Laststeigerung schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung im vergrößerten Riß.
E 20	8,5/6,0 0,442 $e_L = 80$ $e_Q = 250$	Ab Laststufe 3 ($M = 5,7 - 7,44$ kNm) erster Haarriß in Prüfkörpermitte erkennbar. Ab Laststufe 4 ($M > 7,44$ kNm) weitere Haarrisse rechts und links des mittleren Risses. Rißabstände 6-12 cm. Nach Laststufe 12 ($M = 23,06$ kNm) Vergrößerung des mittleren Risses auf 0,54 mm Rißbreite. Nach weiterer Laststeigerung schlagartiges Versagen infolge Bruch der Längsbewehrung im vergrößerten Riß.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Auswertung der Meßergebnisse

Die Durchbiegungswerte aus Spiegel- und Uhrenablesung zeigten gute Übereinstimmung. Sie wurden daher gemittelt und für jeden Plattenstreifen in Abhängigkeit der Momentenbelastung in einem Diagramm aufgetragen (siehe Anlage 2). Die Betondehnungen wurden ebenfalls in Abhängigkeit der Momentenbelastung dargestellt (siehe Anlage 4). Zum besseren Vergleich der einzelnen Versuche wurden die Stahldehnungen in Abhängigkeit der rechnerischen Stahlspannungen in Plattenmitte aufgetragen (siehe Anlage 3).

Bei den beiden Ergänzungsversuchen E 19 und E 20 wurden außerdem die Betonrandstauchungen, 14 cm rechts und links der Plattenmitte, in Abhängigkeit von der Momentenbelastung ausgewertet (siehe Anlage 5).

5.1.1 Hersteller

Bei den Materialuntersuchungen an Zugproben von geschweißten Betonstahlmatten BSt 50/55 RK waren in den charakteristischen Spannungs- und Dehnungswerten mit Ausnahme der Gleichmaßdehnung δ_g keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Dies gilt auch für alle weiteren Untersuchungen wie bezogene Rippenfläche, Rückbiegeversuch, Widerstandspunktschweißung und Scherversuch.

Die gemessenen Gleichmaßdehnungen δ_g zeigten gegenüber den Bruchdehnungen δ_{10} eine erhebliche Streubreite (siehe Tabelle 3).

Während bei Hersteller A die Werte δ_g bei kleinerem Querstabdurchmesser stets niedriger lagen (Ausnahme bei Längsstäben $\varnothing 12$ mm), waren die Werte δ_g beim Hersteller B bei kleinerem Querstabdurchmesser stets höher.

Alle Versuchsergebnisse entsprachen den Anforderungen gemäß DIN 488, Blatt 5, Ausgabe April 1972.

Desgleichen zeigten die Ergebnisse der Betonplattenstreifenversuche keinen bedeutsamen Einfluß in der Verwendung von Betonstahlmatten verschiedener Hersteller.

Bei den beiden Ergänzungsversuchen E 19 und E 20 wurden ausschließlich Bewehrungsmaterial vom Hersteller A verwendet.

5.1.2 Rißbildung

5.1.2.1 Bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten

Bei den Versuchen A 1 bis A 6 und B 7 bis B 12 war in der Zugzone in Plattenstreifenmitte ein Riß vorgegeben.

Die Versuche A 1, A 2, B 7, B 8 mit niedrigem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \approx 0,2 \%$) zeigten zunächst etwas höhere Stahldehnungen im Bereich des vorgegebenen Risses gegenüber den 15 cm seitlich davon angebrachten Meßstellen. Nachdem die aufgebrachte Momentenbelastung das rechnerische Rißmoment überschritten hatte, glichen sich die Dehnwerte an den Meßstellen der Längsbewehrung infolge verstärkter Rißbildung im Beton wieder an.

Bei den Versuchen A 3 ÷ A 6 und B 9 ÷ B 12 mit Bewehrungsgehalten $\mu_o \approx 0,6 \%$ bzw. $\approx 1,4 \%$ hatte ein vorgegebener Riß keinen Einfluß auf das Dehnverhalten der Längsbewehrung im Vergleich zu den Versuchen A 13 bis A 18 (ohne vorgegebenen Riß).

Während die Bruchlast bei Vorgabe eines mittleren Risses mit Ausnahme von Versuch B 11 bei allen Versuchen geringfügig über der rechnerischen Bruchlast lag, wurde bei den Versuchen ohne Rißvorgabe in 4 von 6 Fällen (Versuche A 14, 15, 16, 17) die rechnerische Bruchlast nicht ganz erreicht. Die Differenzen zwischen den rechnerischen Bruchlasten und den Versuchsbruchlasten sind jedoch zu gering, um daraus einen systematischen Einfluß auf das Bruchverhalten abzuleiten.

Bei den Prüfkörpern mit geringem bzw. mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \approx 0,2 \%$ bzw. $0,6 \%$) stellte sich zunächst eine Haarrißverteilung entsprechend der Querstablage ein ($a = 10$ bzw. 25 cm). Bei den Bewehrungsmatten mit großem Querstababstand ($a_2 = 25$ cm) bildeten sich nach wenigen Laststufen Zwischenrisse aus. Die endgültigen Rißabstände betrugen einheitlich im Mittel $12,5$ cm.

Bei den Versuchen mit hohem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \approx 1,4 \%$) stellte sich bei allen Versuchen die gleiche Rißverteilung mit Rißabständen von 5 bis 10 cm ein.

5.1.2.2 Bei Verwendung von Einzelstabbewehrung

Bei den beiden Ergänzungsversuchen E 19 und E 20 mit Einzelstabbewehrung BSt 50/55 RK zeigten sich in etwa die gleichen Rißabstände wie bei den Versuchen mit geschweißten Betonstahlmatten mit kleinen Querabstand und kleinem bzw. mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu_o = 0,2 - 0,6$). Jedoch waren die Rißverläufe deutlich ungleichmäßiger als bei den angeführten Versuchen mit geschweißten Betonstahlmatten.

5.1.3 Dehnverhalten der Längsbewehrung

5.1.3.1 Bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten

Die Versuche A 1, B 7 und A 13 mit niedrigem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \approx 0,2 \%$) und kleinem Querstababstand ($a = 10 \text{ cm}$) zeigten an den in Auflagermitte und 15 cm rechts und links davon befindlichen Meßstellen kein Fließen der Längsbewehrung. An den Bruchstellen der Längsbewehrung waren geringe Einschnürungen erkennbar. Die Abstände der Bruchstellen zu den verschweißten Querstäben lagen zwischen 0,5 bis 2,0 cm.

Bei niedrigem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \approx 0,2 \%$) und großem Querstababstand ($a = 25 \text{ cm}$) zeigte sich bei den Versuchen A 2 und B 8 ein Fließen der Längsbewehrung konzentriert auf eine Meßstelle je Längsstab. Versuch A 14 entsprach den Versuchen mit kleinem Querstababstand. Einschnürung und Entfernung der Bruchstellen vom verschweißten Querstab entsprachen ebenfalls den Versuchen mit kleinem Querstababstand.

Bei allen Versuchen mit mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu \approx 0,6 \%$) war ein Fließen der Längsbewehrung in Plattenmitte (Meßstellen 2 und 5) zu beobachten. Während dies bei kleinem Querstababstand auf die Meßstellen in Plattenmitte beschränkt blieb, zeigten bei großem Querstababstand nach weiteren Laststufen sämtliche Meßstellen ein Fließen der Längsbewehrung an. Die Versuche A 4, A 15 und A 16, bei denen Bewehrungsbrüche auftraten, lagen die Bruchstellen in einem Abstand von 1,0 bis 3,0 cm zu den verschweißten Querstäben. Es waren stets Einschnürungen erkennbar. Lediglich bei Versuch A 3 (kleiner Querstababstand) zeigte sich ein gleichzeitiges Fließen an allen Meßstellen. Der Grund hierfür dürfte die konst. Momentenverteilung im Bereich der Dehnmeßstellen (siehe Tabelle 3) bei diesem Versuch sein.

Die Versuche mit hohem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \approx 1,4 \%$) ließen keinen Einfluß des Querstababstands erkennen. An sämtlichen Meßstellen war beinahe gleichzeitig ein Fließen der Längsbewehrung festzustellen.

5.1.3.2 Bei Verwendung von Einzelstabbewehrung

Bei Versuch E 19 mit einem Bewehrungsgehalt $\mu_0 = 0,229 \%$ war wie bei den Versuchen mit geschweißten Betonstahlmatten bei niedrigem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \approx 0,2$) kein Fließen der Längsbewehrung außerhalb des mittleren Risses festzustellen. Bei Versuch E 20 mit einem Bewehrungsgehalt $\mu_0 = 0,442 \%$ zeigte sich wie bei den Versuchen mit geschweißten Betonstahlmatten bei mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \approx 0,6$) und großem Querstababstand ($a = 25 \text{ cm}$) kurz vor dem Versagen auch an den Meßstellen außerhalb der Auflagermitte ein Fließen der Längsbewehrung. An allen Bruchstellen der Bewehrungsstäbe waren Einschnürungen erkennbar.

5.1.4 Bruchverhalten der Stahlbetonplattenstreifen

5.1.4.1 Bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten

Sämtliche Stahlbetonplattenstreifen mit niedrigem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \sim 0,2 \%$) versagten infolge schlagartigen Bruchs der Längsbewehrung. Kurz vor dem Versagen war eine geringe Vergrößerung des Risses auf $\leq 0,5$ mm Breite an der Bruchstelle erkennbar. Die Bruchstellen lagen 0,5 bis 2,5 cm neben den Querstabanschlüssen. Fließdehnungen der Bewehrung waren nur teilweise und dann ausschließlich im Bereich des mittleren Risses zu beobachten. Bei Versuch A 2 (Auflagerung siehe Tabelle 3) brach die Längsbewehrung 16 bis 17 cm neben dem vorgegebenen Riß, ungefähr in der Mitte zwischen zwei Querstäben, Querstab-Abstand 2,50 m.

3 von 6 Stahlbetonplattenstreifen mit mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \sim 0,6 \%$) versagten ebenfalls infolge Bruch der Längsbewehrung. Dabei waren kurz vor dem Versagen Zerstörungen des Betons in den äußeren Bereichen der Betondruckzone erkennbar. Gleichzeitig war ein deutliches Fließen der Längsbewehrung im Bereich des mittleren Risses, teilweise auch an den restlichen Meßstellen, und damit eine merkliche Zunahme der Durchbiegungen kurz vor dem Versagen zu beobachten. Bei zwei weiteren Stahlbetonplattenstreifen wurde der Versuch infolge Zerstörung der Betondruckzone und großer Durchbiegungsgeschwindigkeit, ohne daß die Längsbewehrung brach, abgebrochen. Ein Stahlbetonplattenstreifen (Versuch A 3) versagte nach Herausplatzen der Betondruckzone zwischen den Auflagerpunkten (Auflagerung siehe Tabelle 2).

Sämtliche Stahlbetonplattenstreifen mit hohem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \sim 1,4 \%$) versagten infolge fortschreitender Zerstörung der Betondruckzone. Zum Versagenszeitpunkt bildete sich ein deutlicher nach einer Seite laufender Schubriß (siehe Bilder, Anlage 4) aus. Bei Versuch A 5 wurde die Versuchslast wegen hoher Durchbiegungsgeschwindigkeit des Prüfkörpers zurückgenommen; daher kam es nicht zur Ausbildung eines Schubrisses entsprechend den anderen Versuchen mit hohem Bewehrungsgehalt. Kurz vor dem Versagen zeigten sämtliche Meßstellen Fließen der Längsbewehrung an.

5.1.4.2 Bei Verwendung von Einzelstabbewehrung

Beide Versuche (E 19, E 20) versagten infolge schlagartigen Bruchs der Längsbewehrung. Auch hier war kurz vor dem Versagen eine Vergrößerung des mittleren Risses auf etwa 0,5 mm Breite erkennbar.

Bei Versuch E 19 ($\mu_0 = 0,229 \%$, $\emptyset = 6 \text{ mm}$) zeigte sich kurz vor dem Versagen ausschließlich im Bereich des mittleren Risses ein Fließen der Längsbewehrung.

Bei Versuch E 20 ($\mu_0 = 0,442 \%$, $\emptyset = 8,5 \text{ mm}$) wurde kurz vor dem Versagen auch an den restlichen Dehnungsmeßstellen das Erreichen der Fließgrenze registriert.

5.2 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

5.2.1 Bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten

Die Auswertung von 18 Versuchen an Betonplattenstreifen mit Stahlbetonmattenbewehrung BST 50/55 RK erbrachte keinerlei Unterschiede in der Bruchlast bei der Verwendung von Betonstahlmatten zweier Hersteller. Im Dehnverhalten der Längsstäbe zeigten sich einige Unterschiede bei der Gleichmaßdehnung δ_g . Beim Hersteller A lagen die Werte δ_g bei kleinerem Querstabdurchmesser stets niedriger (Ausnahme Längsstabdurchmesser 12 mm), während beim Hersteller B die Werte δ_g bei kleinerem Querstabdurchmesser stets höher lagen.

Auffällig ist die große Streuung der gemessenen Gleichmaßdehnungen innerhalb der einzelnen Versuchsgruppen von je 3 Proben pro Versuch. Sie resultieren aus einigen Brüchen im Bereich der geschweißten Querstäbe, die zu Gleichmaßdehnungen zwischen 2 % bis 5 % führten, während die Ergebnisse bei Brüchen außerhalb des Schweißbereichs bei 4,0 % bis 7,3 % lagen.

Bei mittlerem Bewehrungsgrad ($\mu_0 \sim 0,6 \%$) kam es bei den Versuchen mit Bewehrungsmaterial von Hersteller A in 3 von 4 Fällen zu Bewehrungsbrüchen; bei den beiden Versuchen mit Bewehrungsmaterial von Hersteller B versagte jeweils die Betondruckzone (keine Bewehrungsbrüche).

Betonplattenstreifen mit niedrigem und mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \sim 0,2$ bis $0,6 \%$) zeigten in der Rißbildung eine vorübergehende Abhängigkeit vom Querstababstand. Unter geringer Belastung stellten sich nämlich Haarrisse entsprechend der Querstablage ein. Nach Steigerung der Belastung bildete sich bei den Plattenstreifen mit großem Querstababstand der Betonstahlmattenbewehrung jeweils ein Zwischenriß aus (Rißabstand $\sim 12,5 \text{ cm}$).

Betonplattenstreifen mit hohem Bewehrungsgehalt ($\mu_0 \sim 1,4 \%$) zeigten dagegen bei beiden Querstababständen nach Überschreiten des Rißmoments von Anbeginn an die gleiche Haarrißverteilung von etwa $5 \div 10 \text{ cm}$.

Je geringer der Bewehrungsgehalt war, desto stärker zeigte sich die Neigung zu ausschließlichem Fließen der Längsbewehrung nur in einem Riß. Dieser Effekt war bei kleinem Querabstand ($a = 10 \text{ cm}$) verstärkt erkennbar.

Charakteristisch ist, daß bei den Betonplattenstreifen mit geringem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \sim 0,2 \%$) nach dem Erreichen des rechnerischen Fließmoments, in einigen Fällen sogar bis zur letzten Messung kurz vor dem Versagen, an den Meßstellen kein Fließen der Längsstäbe registriert wurde, jedoch ein schlagartiger Bruch der Bewehrung eintrat.

50 % der Betonplattenstreifen mit mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \sim 0,6 \%$) versagten nach vorhergehendem Fließen deutlich infolge Bruch der Längsbewehrung; gleichzeitig war die Zerstörung der äußeren Bereiche der Betondruckzone zu beobachten.

Bei allen anderen Versuchen mit mittlerem bzw. hohem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \sim 1,4 \%$) kam es nicht zum Bruch der Längsbewehrung, sondern zur Zerstörung der Betondruckzone.

Die Bruchstellen der Bewehrungsstäbe lagen mit Ausnahme von Versuch A 2 $1 \div 2$ cm neben dem jeweiligen Querstab in Plattenstreifenmitte. Bei Versuch A 2 betrug dieser Abstand $8 \div 9$ cm. Es zeigten sich die gleichen Einschnürungen, die auch an Zugproben - siehe Tabelle 3 - beobachtet wurden. In einigen Fällen brach ein einzelner Stab unmittelbar neben dem Querstab an der Stelle des Momentenmaximums. An solchen Bruchstellen war kaum eine Einschnürung erkennbar.

5.2.2 Bei Verwendung von Einzelstabbewehrung

Die Auswertung der beiden Ergänzungsversuche mit Einzelstabbewehrung BSt 50/55 RK und den Bewehrungsgehalten $\mu_o = 0,229$ bzw. $0,442 \%$ ergab keine Unterschiede in den Bruchlasten und der Versagensart gegenüber den entsprechenden Versuchen bei Verwendung von geschweißten Betonstahlmatten. Bei der Gleichmaßdehnung zeigten sich die gleichen Streubreiten und mit $\delta_g = 4,1 - 8,9 \%$ etwa die gleichen Werte wie bei den Proben von geschweißten Betonstahlmatten mit Brüchen außerhalb des Schweißbereichs der Querstäbe.

Die Haarrißabstände entsprachen mit $6 - 12$ cm etwa der Rißverteilung bei den Versuchen mit Betonstahlmattenbewehrung mit entsprechenden Bewehrungsgehalten; sie waren jedoch ungleichmäßiger verteilt.

Der mittlere Riß verbreiterte sich bei beiden Versuchen kurz vor dem Versagen auf etwa die gleiche Breite von $\sim 0,5$ mm, wie es auch bei den Versuchen mit Betonstahlmatten mit Bewehrungsgehalten von $\mu_o = 0,2 \%$ bzw. $0,6 \%$ zu beobachten war.

Ebenso war bei Versuch E 19 ($\mu_o = 0,229 \%$) wie bei den entsprechenden Versuchen mit Betonstahlmattenbewehrung kein Fließen außerhalb des mittleren Risses festzustellen. Bei Versuch E 20 ($\mu_o = 0,442 \%$) zeigte sich kurz vor dem Versagen auch an den Meßstellen außerhalb des mittleren Risses ein Fließen der Längsbewehrung.

An allen Bruchstellen der Bewehrungsstäbe waren Einschnürungen erkennbar.

6. Wertung

Im vorliegenden Bericht wurde das Bruchverhalten von geschweißten Betonstahlmattenbewehrungen in Plattenstreifen untersucht. Dabei wurden Betonstahlmatten der Stahlgüte BSt 50/55 RK von 2 Herstellern mit jeweils unterschiedlichen Längsstabdurchmessern und 2 Querstababständen verwendet.

Zusätzlich wurden identische Plattenstreifen mit Einzelstabbewehrung der Stahlgüte BSt 50/55 RK untersucht.

Anlaß dieser Untersuchung waren einige frühzeitige Brüche der Biegezugbewehrung über dem mittleren Auflager bei Durchlaufplattenstreifen im Brandfall.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse aus Brandversuchen an Plattenstreifen [1] ist bei im Hochbau üblichen Plattendicken und bei Verwendung von Bewehrungsstahl BSt 50/55 RK ab einem Bewehrungsgehalt $\mu_o > 0,65 \%$ Versagen der Betondruckzone zu erwarten.

Bei einem Bewehrungsgehalt von $\mu_o \leq 0,45 \%$ versagen derartige Querschnitte infolge schlagartigen Bruchs der Biegezugbewehrung.

Liegt der Bewehrungsgehalt bei $\mu_o = 0,45 - 0,65 \%$, sind beide Versagensarten möglich.

Alle vorstehend mitgeteilten Ergebnisse wurden an Stahlbetonplattenstreifen mit einer Dicke von $10 \div 16$ cm erzielt.

6.1. Zugkraft der Bewehrung zwischen Rissen

In Bild 1 ist die um die Mitwirkung des Betons verminderte Zugkraft der Bewehrung, bezogen auf die Betonzugzone, in Abhängigkeit vom geometrischen Bewehrungsgehalt μ_o für sämtliche Versuche einschließlich der Brandversuche [1] dargestellt.

Die Art der Darstellung wurde gewählt, um jene Bereiche deutlich werden zu lassen, wo schlagartige Brüche, ohne deutliches Fließen der Bewehrung, beobachtet wurden. Dabei sollte die Mitwirkung der Betonzugspannungen eliminiert werden. Aus dieser Darstellung kann entnommen werden:

a) Vorliegende Versuche

Bei geringem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \sim 0,2 \%$) - sämtliche Plattenstreifen versagten infolge schlagartigen Bruches der Bewehrung - beträgt die um die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen verminderte Zugkraft der Bewehrung, bezogen auf den Querschnitt der Betonzugzone, im Versagenszeitpunkt $\leq 0 \text{ kN/m}^2$. Das heißt: die Zugkraft im Beton Z_b ist größer als die Zugkraft der Bewehrung $Z_{e,0,2}$.

Bei hohem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \sim 1,4 \%$) - sämtliche Plattenstreifen versagten infolge Fließens der Bewehrung und gleichzeitiger Zerstörung der Betondruckzone (keine Bewehrungsbrüche!) - liegt $(Z_{e,0,2} - Z_b)/F_z$ in der Größenordnung von 11000 kN/m^2

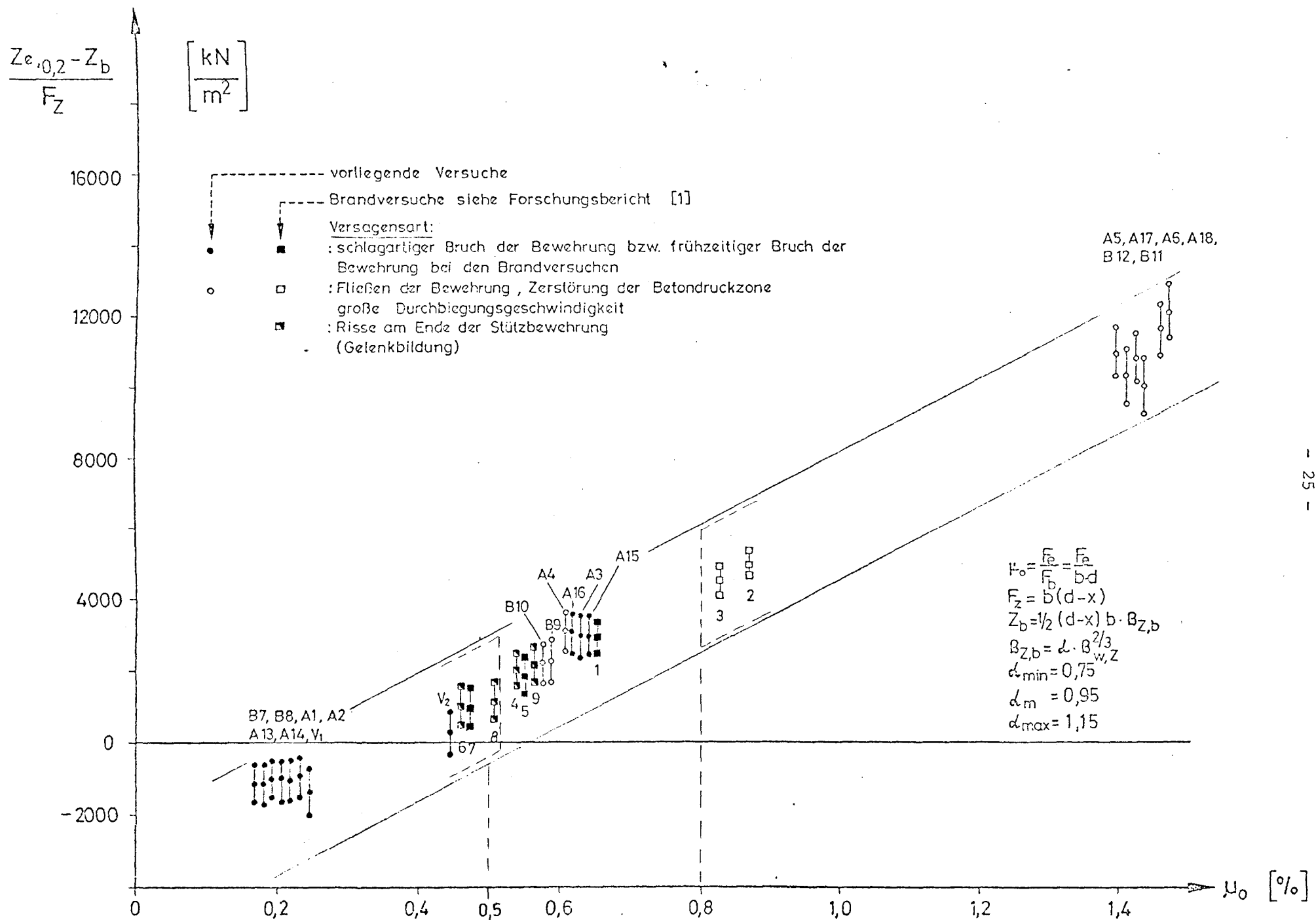
Bei mittlerem Bewehrungsgehalt ($\mu_o \sim 0,6 \%$) - beide Versagensarten traten in gleicher Häufigkeit auf - beträgt $(Z_{e,0,2} - Z_b)/F_z \leq 3500 \text{ kN/m}^2$.

Mit abnehmendem Bewehrungsgehalt μ_o sinkt die effektive Zugkraft der Bewehrung im Bereich zwischen den Rissen gegenüber der Zugkraft in den Rissen stark ab, was ein deutlich früheres Fließen der Bewehrung in den Rissen begünstigt und zu einer Konzentrierung der plastischen Dehnungen in den Rissen führt.

Sinkt der Bewehrungsgehalt μ_o unter etwa $0,5 \%$, kommt es überwiegend nicht mehr zu deutlichen plastischen Dehnungen der Bewehrung, vielmehr treten schlagartige Bewehrungsbrüche auf.

b) Brandversuche

Bei den Versuchen 1, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 liegen sowohl die Bewehrungsgehalte ($\mu_o = 0,47 - 0,65 \%$) als auch die Werte für $(Z_{e,0,2} - Z_b)/F_z$ der unter Brandeinwirkung geprüften Durchlaufplattenstreifen in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vorliegenden Versuche mit mittlerem Bewehrungsgehalt. Die obere Bewehrung bestand ebenfalls aus geschweißten Betonstahlmatten BSt 50/55 RK. Bei Versuch 8 war außerdem eine Zulage aus BSt 42/50 RK angeordnet.



Diese Durchlaufplattenstreifen versagten entweder frühzeitig in der 20. bis 30. Minute (Versuche 1, 5, 7) infolge Bruch der oberen Bewehrung über dem mittleren Auflager, oder es entstanden sehr früh (5. bis 18. Minute) Risse an einem Ende bzw. beiden Enden der oberen Bewehrung (Versuche 4, 6, 8, 9), die zu einer Gelenkbildung und damit zu einer Momentenumlagerung - keine weitere Erhöhung des Zwangsmoments aus Temperatur - führten.

Bei Versuch 2 war als obere Bewehrung eine Einzelstabbewehrung BSt 42/50 RU angeordnet. Dieser Versuch liefert daher keine Aussage zum Bruchverhalten von geschweißten Betonstahlmatten.

Bei Versuch 3 mit einem Bewehrungsgehalt von $\mu_o = 0,83 \%$ entsprachen sowohl das Bewehrungsmaterial (BSt 50/55 RK) als auch die Bewehrungsführung den Versuchen mit Bewehrungsgehalten von $\mu_o \%$ $0,47 \div 0,65$; das Versuchsergebnis und die Brucherscheinungen stimmen mit den Erfahrungen im Bereich der "kalten" Versuche überein.

6.2 Plastische Rotation bei Bruch der Biegezugbewehrung

Eine Gegenüberstellung der Versuche mit geschweißten Betonstahlmatten mit verschiedenen Querstababständen und Versuchen mit Einzelstabbewehrung gleichen Materials zeigt, daß allenfalls bei geringem Querstababstand ($a = 10$ cm) ein geringer Einfluß der verschweißten Querstäbe auf die Rißverteilung sowie den Dehnungs- und Spannungsverlauf der Längsstäbe in und zwischen den Rissen vorhanden ist.

Die Gleichmaßdehnung δ_g unterliegt bei Betonstahl BSt 50/55 RK einer starken Streuung. Brüche im Bereich der Querstabanschlüsse scheinen zufallsbedingt aufzutreten; allerdings scheinen sie für Proben mit vergleichsweise geringer Gleichmaßdehnung δ_g kennzeichnend zu sein. Zu diesem Ergebnis kommt auch Meyer [9] bei der Auswertung einer Großversuchsserie gleichen Bewehrungsmaterials.

Nach Bachmann [10] wird die plastische Verformbarkeit eines Stahlbetonquerschnitts bei Versagen der Zugbewehrung in einem "Biegeriß-Gelenk" kleiner mit

1. größerer Querkraft,
2. größerem Rißabstand,
3. kleiner Gleichmaßdehnung,
4. schlechteren Verfestigungseigenschaften des Bewehrungsmaterials,
5. besseren Verbundeigenschaften und
6. kleineren Stabdurchmessern.

Bei den untersuchten Plattenstreifen mit Bewehrung aus BSt 50/55 RK treten die meisten der vorgenannten Effekte auf:

- zu 2) Mit einem mittleren Rißabstand von 10 cm ist das Verhältnis Rißabstand s zur statischen Höhe h bei Plattendicken von 10 - 16 cm mit 0,77 bis 1,25 vergleichsweise groß.
- zu 3) Infolge Störung des Verbundes stellen sich Risse vorwiegend im Bereich geschweißter Querstäbe ein. Dabei besteht die Gefahr der reduzierten Gleichmaßdehnung im Bereich der Punktschweißung.
- zu 4) Die Verfestigungseigenschaften lassen sich durch das Verhältnis Zugfestigkeit Streckgrenze ausdrücken.

Bei BSt 42/50 beträgt dieses Verhältnis $v = 1,19$,

bei BSt 50/55 sinkt der Wert auf $v = 1,10$.

Die Ergebnisse der Zugversuche des verwendeten Bewehrungsmaterials zeigen einen deutlich negativen Einfluß des Stabdurchmessers auf die Verfestigungseigenschaften. Es ergeben sich folgende Verhältnisse:

Stabdurchmesser	$v = \frac{\text{Zugfestigkeit}}{\text{Streckgrenze}}$
4,5 mm	1,033 - 1,065
8,0 mm	1,042 - 1,094
12,0 mm	1,121 - 1,165

d. h. je dünner der Stab, desto geringer die Verfestigung.

- zu 5) Rippenstähle haben gegenüber glatten bzw. profilierten Betonstählen deutlich bessere Verbundeigenschaften.
- zu 6) Bei geringem bis mittlerem Bewehrungsgehalt betragen die Stabdurchmesser $\leq 8,0$ mm.

Ein weiteres Kriterium für die plastische Verformbarkeit von Stahlbetonquerschnitten ist der Bereich ℓ_{pl} , indem sich plastische Verformungen ausbilden. Nach Bachmann [10] ist ℓ_{pl} in der Regel nicht größer als $2 h$.

Daraus ergeben sich bei den vorliegenden Versuchen plastische Bereiche von $\ell_{pl} = 16 \div 26$ cm.

Nach Dilger [5] ergibt sich ein plastischer Bereich von $\ell_{pl} \leq 26$ cm.

Damit sind bei Plattendicken ≤ 16 cm und einem Rißabstand von 10 cm höchstensfalls 3 Risse im Bereich ℓ_{pl} möglich. Bei sehr gutem Verbund ist nach Bachmann [10] eine Konzentrierung der plastischen Verformungen in einem Riß nicht auszuschließen.

Dies deckt sich sowohl mit den gemessenen Stahldehnungen der untersuchten Plattenstreifen, bei denen sich bis kurz vor Bruch der Biegezugbewehrung entweder keine plastischen Dehnungen (bei niedrigem Bewehrungsgehalt und geringem Verfestigungsbereich) oder überwiegende Konzentrierung der plastischen Dehnungen im mittleren Riß (bei mittlerem Bewehrungsgehalt) zeigten, als auch mit der beobachteten Rißbildung bei Durchlaufplattenstreifen über dem mittleren Auflager im Brandfall.

Nach Bachmann [10] sind die plastischen Verformungen der Bewehrungsstäbe zwischen den Rissen gegenüber jenen in den Rissen vernachlässigbar klein. Somit ergibt sich die max. plastische Rotation oder der kritische Gelenkwinkel mit

$$\omega_i = \frac{w_i}{h-x} \quad \text{zu} \quad [10] \quad s. 18 \quad \text{Gl. 9 u. 10}$$

$$\theta_{krit} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{h-x}$$

Hierin bedeuten

- w_i Rißweite des Risses i in cm in Achse der Zugbewehrung
- h statische Höhe des Betonquerschnittes
- x Abstand der Nulllinie vom Betondruckrand

Weiter wird von dem gleichen Verfasser die Gleichmaßdehnung δ_g als gute Näherung der Grenzdehnung im kritischen Riß genannt. Nach Bestimmung eines Verbundfaktors k , der alle Einflüsse wie Rippenausbildung, Stabdurchmesser, Bewehrungsgehalt und Verfestigungseigenschaften des Bewehrungsmaterials abdeckt, läßt sich die kritische Rißweite wie folgt anschreiben:

$$w_{krit} = k \cdot s \cdot \delta_g \quad [\text{cm}] \quad [10] \quad s. 18 \quad \text{Gl. 11}$$

Dabei bedeutet s Rißabstand in cm.

Der Verbundfaktor k ist in Abhängigkeit der vorgenannten Einflüsse einem Diagramm zu entnehmen, das jedoch nur für Rippentorstahl gilt. Hierbei ergeben sich für die vorliegenden Versuche Werte zwischen $k = 0,2$ bis $0,4$. Der Verfasser verweist darauf, daß bei hochwertigem Betonrippenstählen der Verbundfaktor bis auf den Wert $k = 0,1$ absinken kann.

Die plastische Rotation θ_{krit} wird wie folgt abgeschätzt:

1. Annahme

$$k = k_{min} = 0,1$$

$$\delta_g = \delta_{g\ min} = 2\ \% \quad (\text{bei Schweißstelleneinfluß})$$

$$s = s_{mittel} = 10\ \text{cm}$$

plastische Dehnungen in einem Riß

$$w_{krit} = 0,1 \cdot 10 \cdot 0,02 = 0,02\ \text{cm}$$

$$d = 10\ \text{cm}: \quad \theta_{krit} = \frac{w_{krit}}{h - x} = \frac{0,02}{8 - 1,1} = 0,0029$$

$$d = 16\ \text{cm}: \quad \theta_{krit} = \frac{0,02}{13 - 3,25} = 0,0021$$

2. Annahme

$$k = 0,4$$

$$\delta_g = 5\ \% \quad (\text{ohne Schweißstelleneinfluß})$$

$$s = 10\ \text{cm}$$

plastische Dehnungen in 3 Rissen

$$\theta_{krit} = \sum_{i=1}^3 w_i = (0,4 \cdot 10 \cdot 0,05) \cdot 1,50 = 0,30\ \text{cm}$$

(Die beiden Nebenrisse wurden entsprechend den Ergebnissen von Bachmann [10] mit je 25 % der Rißbreite des mittleren Risses geschätzt.)

$$d = 10\ \text{cm}: \quad \theta_{krit} = \frac{0,30}{8-11} = 0,0434$$

$$d = 16\ \text{cm}: \quad \theta_{krit} = \frac{0,30}{13 - 3,25} = 0,0308$$

In Abhängigkeit von Verbund, Rißzahl und Gleichmaßdehnung kann sich somit die Größe der plastischen Rotation von Plattenquerschnitten mit geschweißter Betonstahlmatten-Bewehrung um ungefähr das 15-fache verändern. Dies bedeutet, daß Plattenquerschnitte mit niedrigem Bewehrungsgehalt μ_o , die infolge Bruchs der Bewehrung versagen, bei Verwendung von Bewehrungsmaterial mit kleinen Stabdurchmessern, hohen Verbund- und schlechten Verfestigungseigenschaften sowie geringer Gleichmaßdehnung - Faktoren, die bei geschweißten Betonstahlmatten BSt 50/55 RK zutreffen - nur eine stark reduzierte Rotationsfähigkeit besitzen.

7. Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wurde das Bruchverhalten von Plattenstreifen mit Bewehrung aus BSt 50/55 RK untersucht. Bedeutsame Unterschiede bei der Verwendung von Bewehrungsmaterial verschiedener Hersteller waren nicht erkennbar.

Ein signifikanter Einfluß der verschweißten Querstäbe auf die Rißabstände und den Spannungs- und Dehnungsverlauf zwischen den Rissen war ebenfalls nicht erkennbar. Jedoch bildete sich im Bereich der verschweißten Querstäbe infolge der Störung des Betongefüges in jedem Fall ein Riß aus.

Die ohnehin gegenüber BSt 42/50 RU geringere Gleichmaßdehnung δ_g kann im Bereich der angeschweißten Querstäbe etwa auf die Hälfte der Werte abfallen, die außerhalb des Schweißbereichs beobachtet werden.

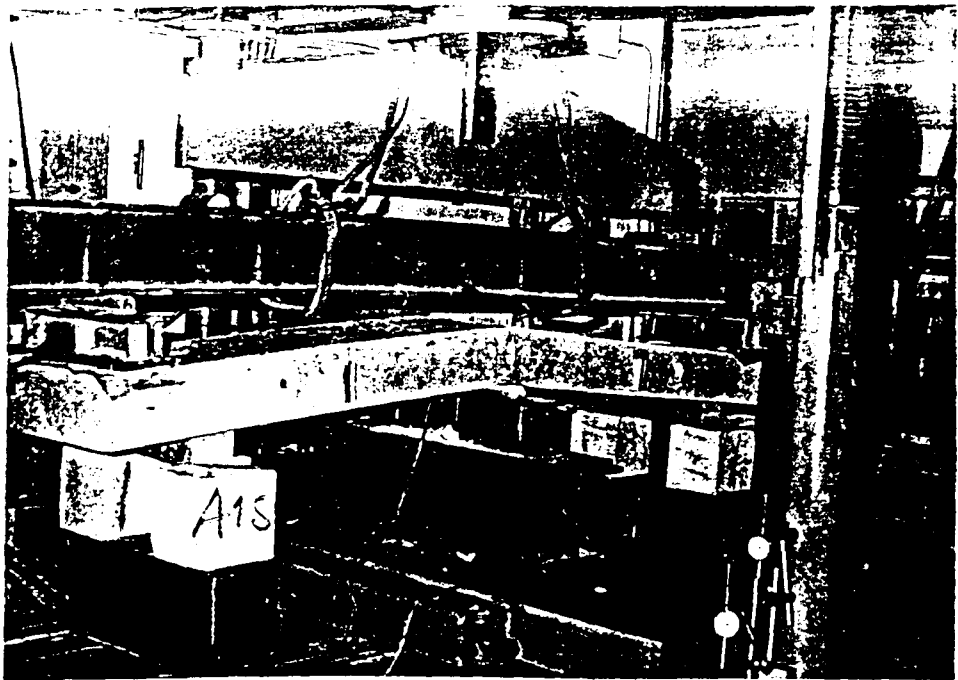
In diesen Fällen pflegen die Stabbrüche in unmittelbarer Nähe der Schweißstellen aufzutreten. In Versuchen an freien Zugproben zeigte sich diese Erscheinung an etwa 20 % aller Prüfdurchgänge [9]. Bei den Bauteilversuchen scheint dieser Effekt weniger häufig aufzutreten, was u. a. auf den im Bauteil auftretenden Verbund zurückzuführen sein dürfte.

Der im Hinblick auf den Gebrauchszustand wünschenswerte sehr gute Verbund von gerippten Stäben mit kleinen Stabdurchmessern führt, wie die gemessenen Stahldehnungen bestätigen, zu einer Konzentrierung der plastischen Dehnungen in 1 bis 3 Rissen. Zusammen mit den schlechteren Verfestigungseigenschaften von BSt 50/55 RK und den in der Regel niedrigen Bewehrungsgehalten der im Hochbau üblichen Plattenquerschnitte kann das plastische Rotationsvermögen derartiger Stahlbetonquerschnitte erheblich absinken. Beim Zusammentreffen sämtlicher aufgeführten negativen Einflüsse kann sich der Wert der plastischen Rotation bei Verwendung geschweißter Betonstahlmatten BSt 50/55 RK gegenüber dem zu erwartenden Mittelwert um etwa eine Zehnerpotenz verringern.

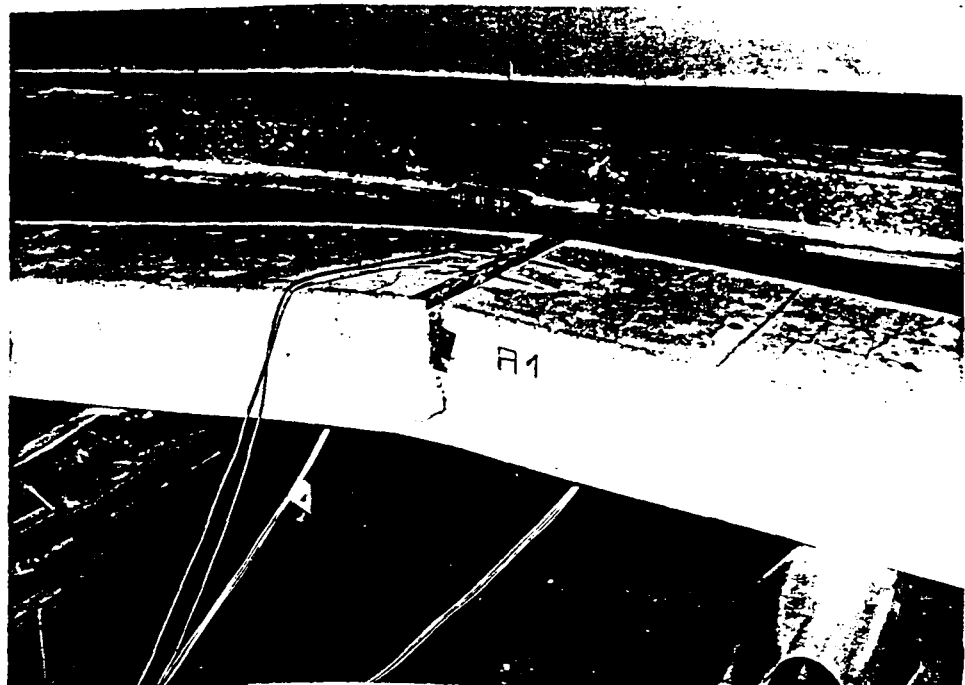
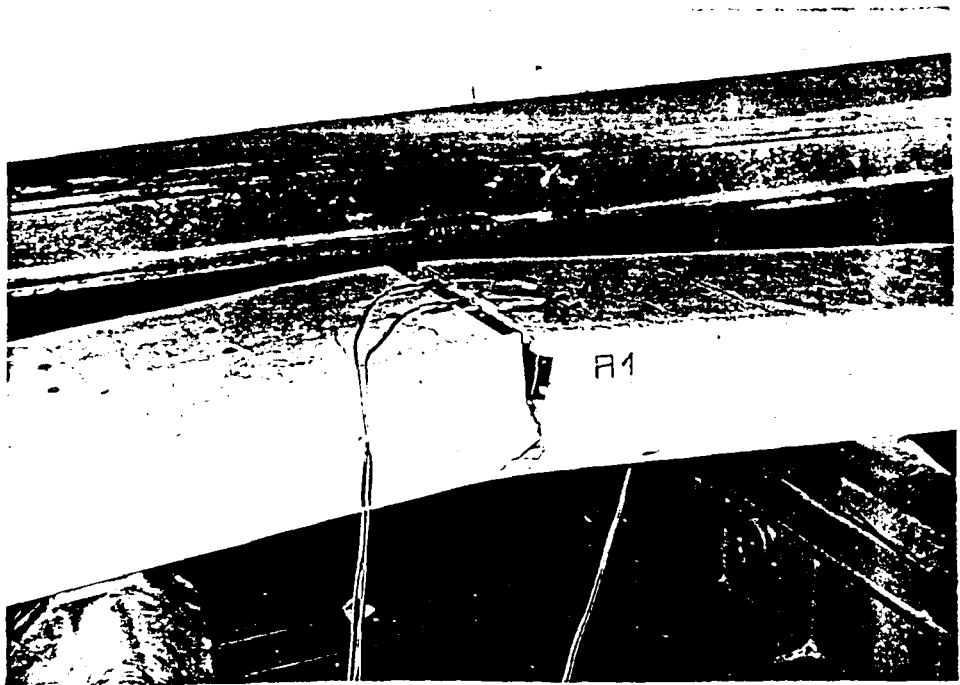
8. Literaturverzeichnis

- [1] Wesche, J.:
Stahlbetondurchlaufkonstruktionen unter Feuerangriff bei Variierung von Stahlart und -güte der Hauptzugbewehrung im Stützenbereich. Bericht des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, Teil I des vorliegenden Berichts (Az. VB1 - 72.02 Nr. 40/73).
- [2] Wesche, J.:
Stahlbetondurchlaufkonstruktionen unter Feuerangriff. Bericht des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, (1974).
- [3] Leonhardt, F.:
Vorlesungen über Massivbau, Teil 4. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, (1976).
- [4] Dahl, W., u. H. Rees:
Die Spannungs-Dehnungs-Kurve von Stahl. Verlag Stahleisen mbH., Düsseldorf, (1976).
- [5] Dilger, W.:
Veränderlichkeit der Biege- und Schubsteifigkeit bei Stahlbetontragwerken und ihr Einfluß auf Schnittkraftverteilung und Traglast bei statisch unbestimmter Lagerung. DAFStb., Heft 179, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, (1966).
- [6] Kuntze, W., F. Uebel und F. Gentner:
Umrechnung der im Zugversuch ermittelten Bruchdehnung auf andere Probenmaßlängen. Archiv für das Eisenhüttenwesen, Heft 10, (1936).
- [7] Winkelmann, O.:
Verformungsverhalten von Beton- und Spannstählen bei hohen Temperaturen. Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen", Arbeitsbericht 1975/77, Teil II, Technische Universität Braunschweig, (1977).
- [8] Klingsch, W.:
Zwangsschnittgrößen in Stahlbeton-Plattenstreifen bei Brandeinwirkung. Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen", Arbeitsbericht 1975/77, Teil I, Technische Universität Braunschweig, (1977).

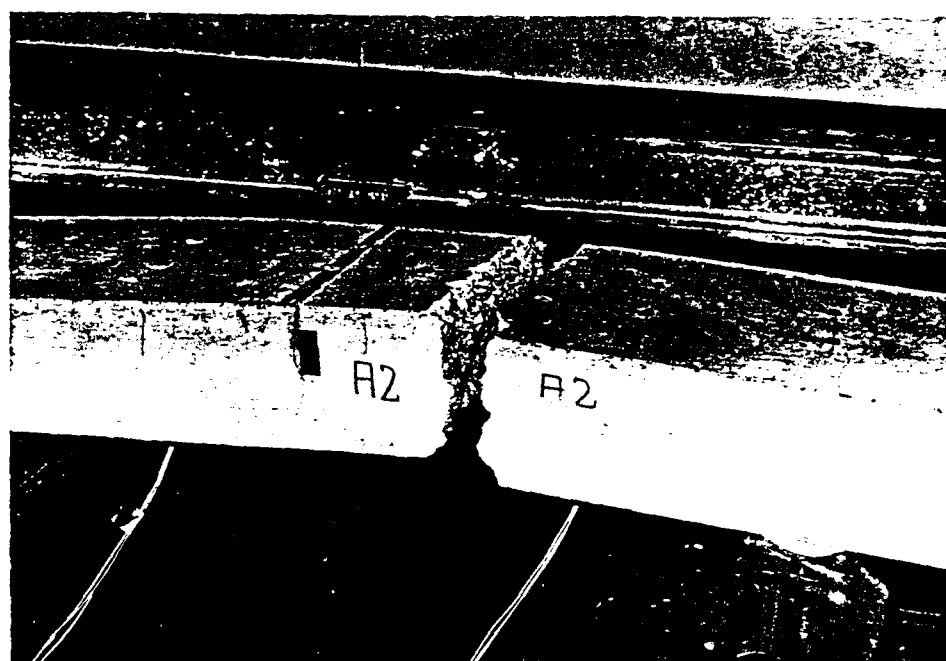
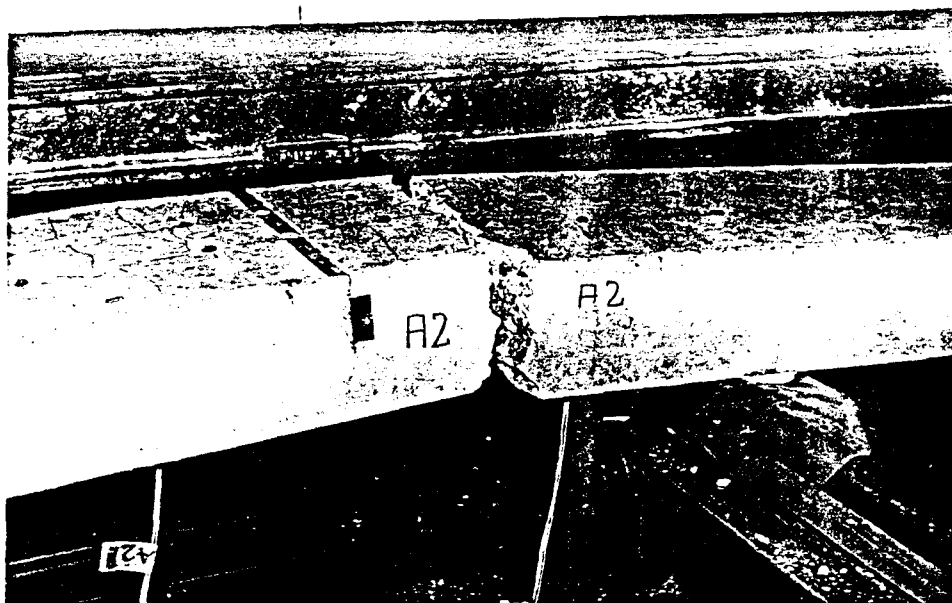
- [9] Meyer, H.:
Zur Entwicklung eines neuen Verfahrens der Kaltumformung von Rippen-
stahl für Betonstahlmatten.
Dissertation T.U. Clausthal, 1967.
- [10] Bachmann, H.:
Zur plastizitätstheoretischen Berechnung statisch unbestimmter Stahl-
betonbalken.
Dissertation ETH Zürich, 1967.



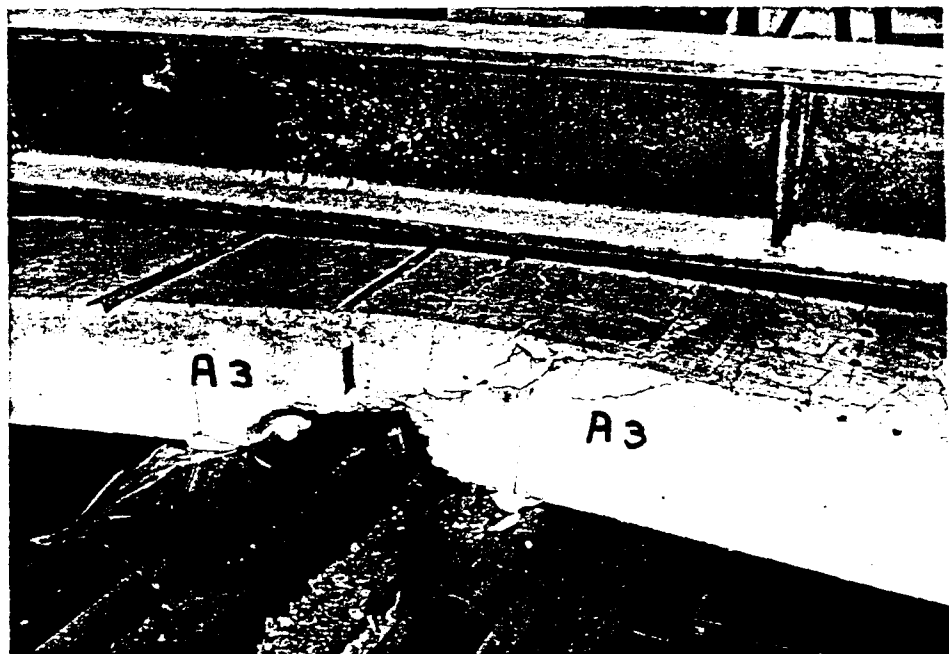
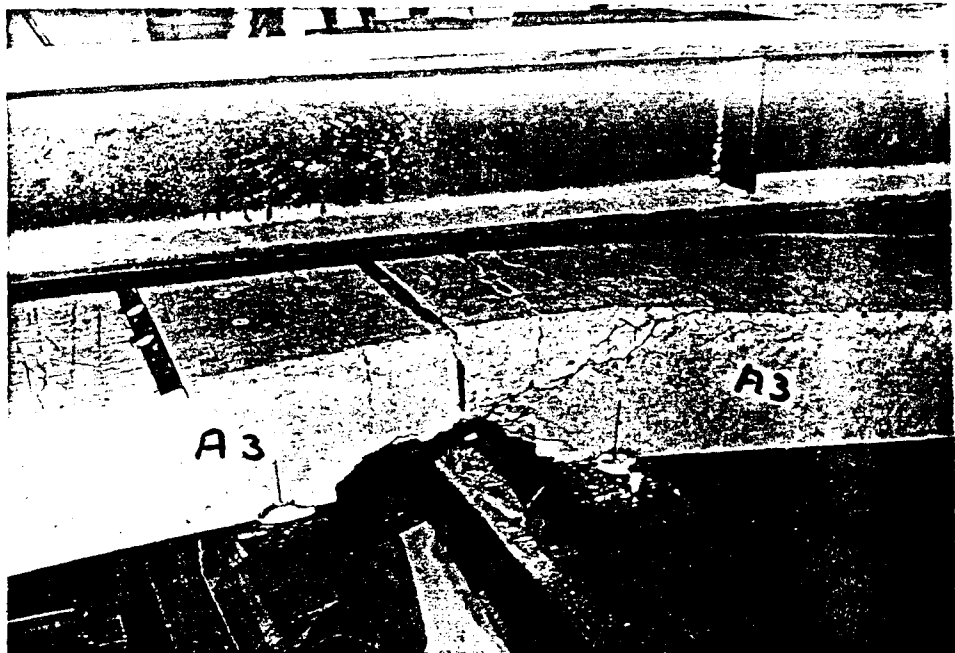
Betonplattenstreifen mit Belastungseinrichtung



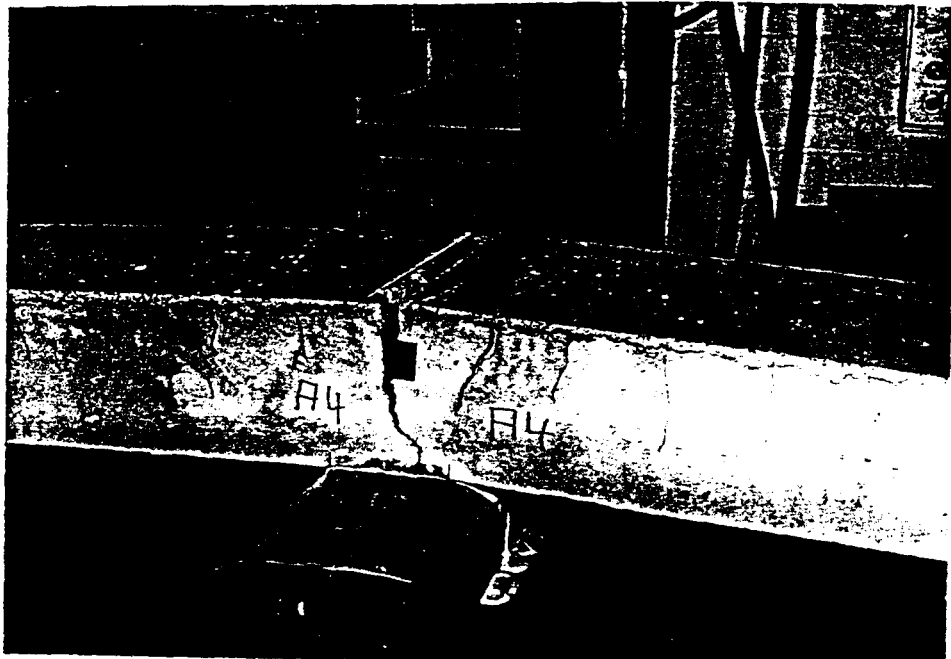
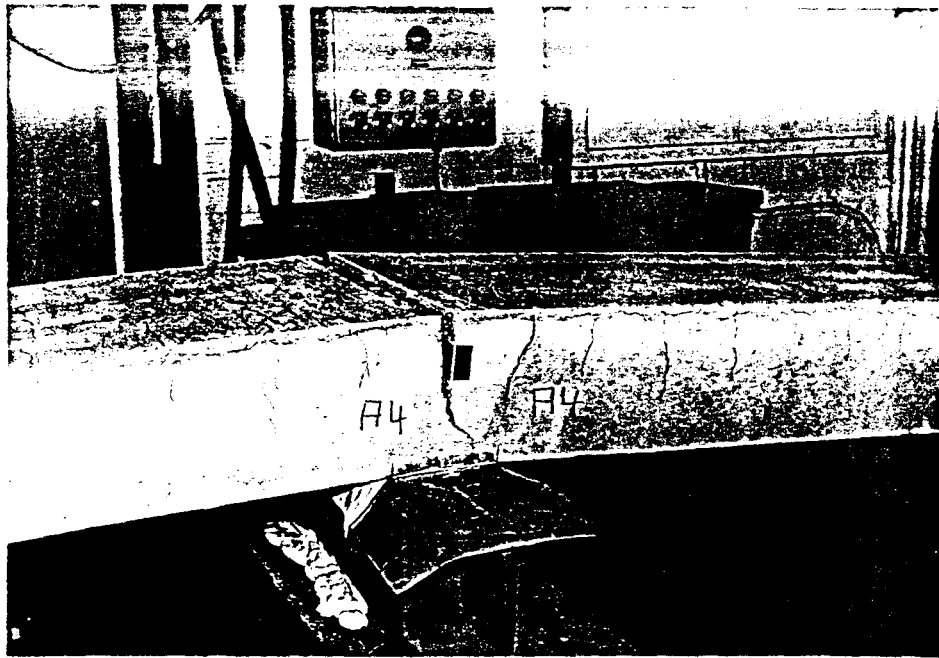
Versuch A 1
Maschen 100/100
 $\mu_o = 0,204$



Versuch A 2
 Maschen 100/250
 μ_o = 0,204



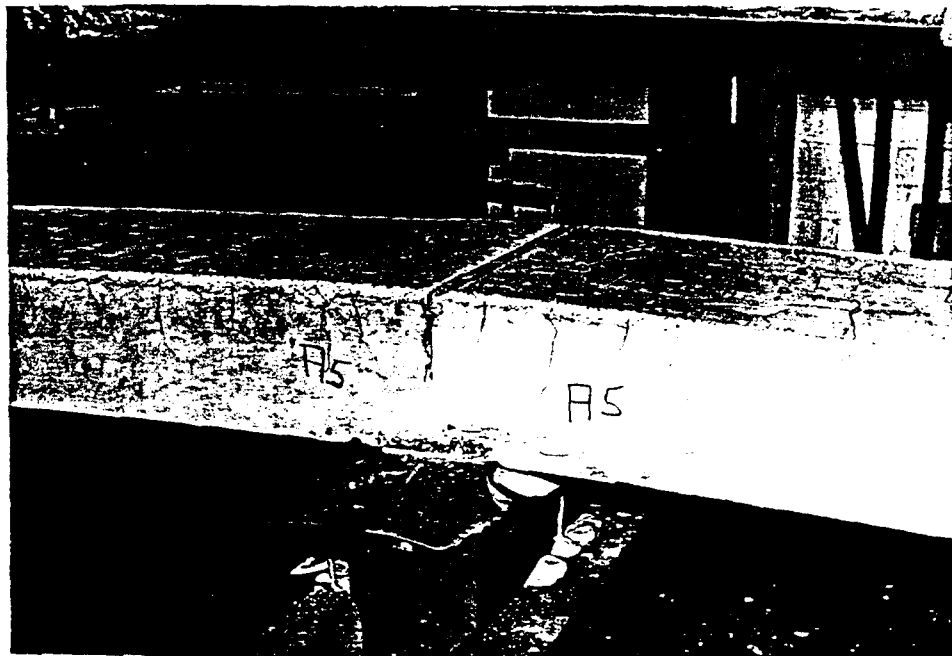
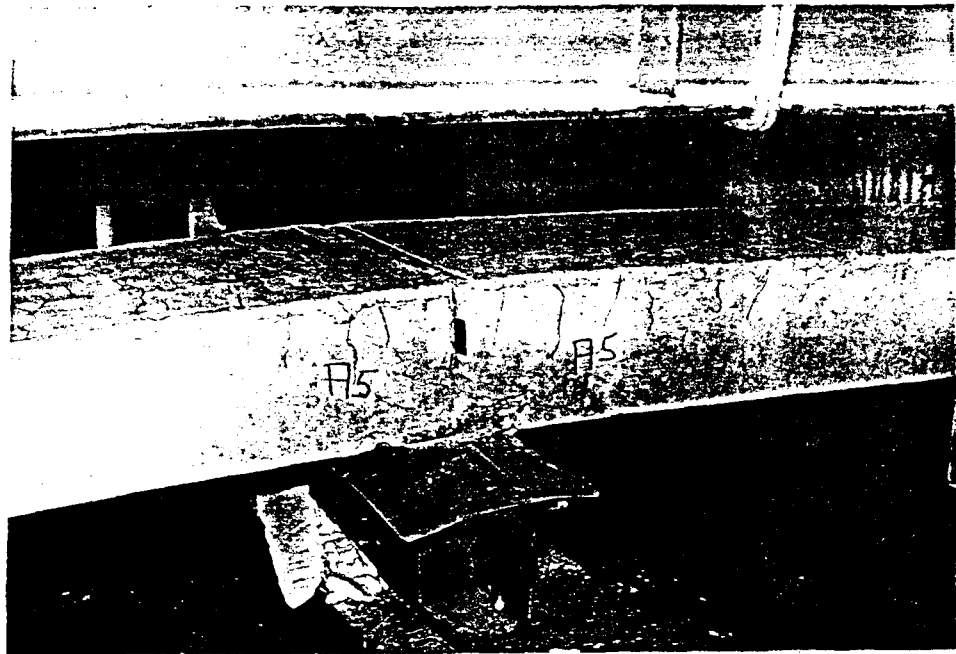
Versuch A 3
 Maschen 100/100
 $\mu_o = 0,628$



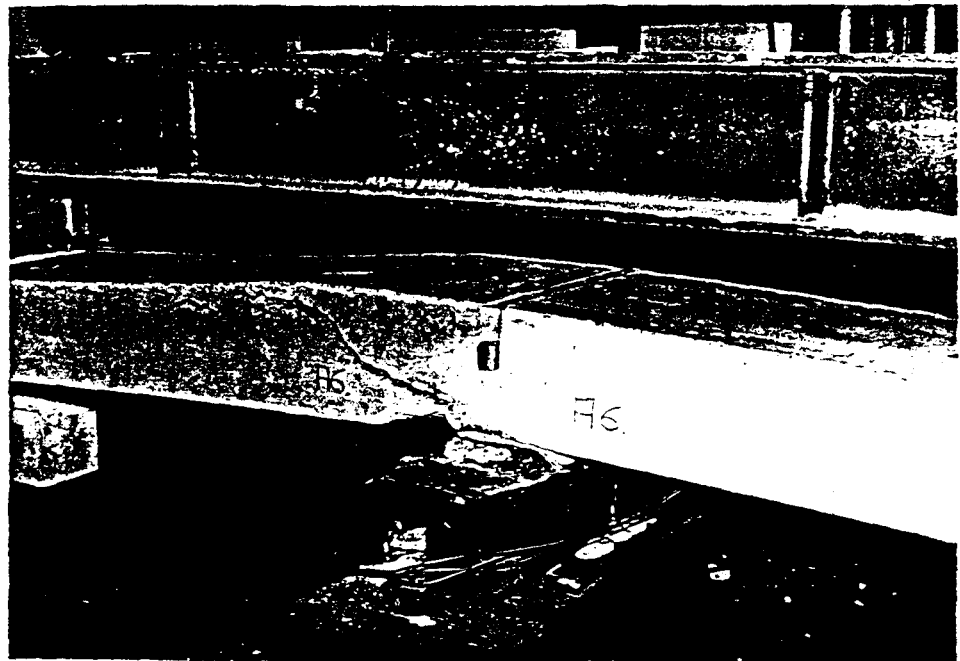
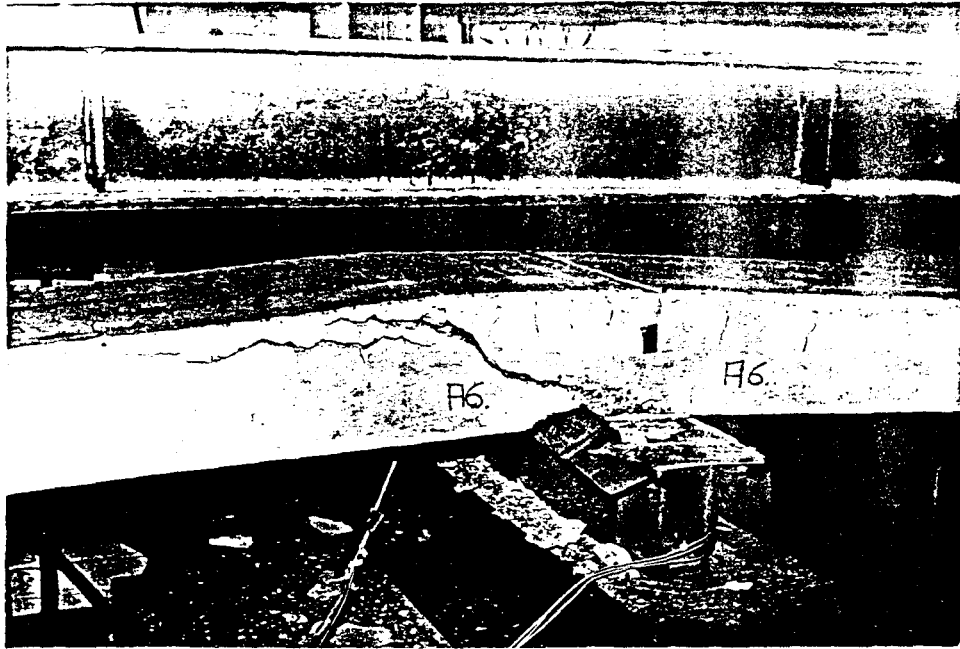
Versuch A 4

Maschen 100/250

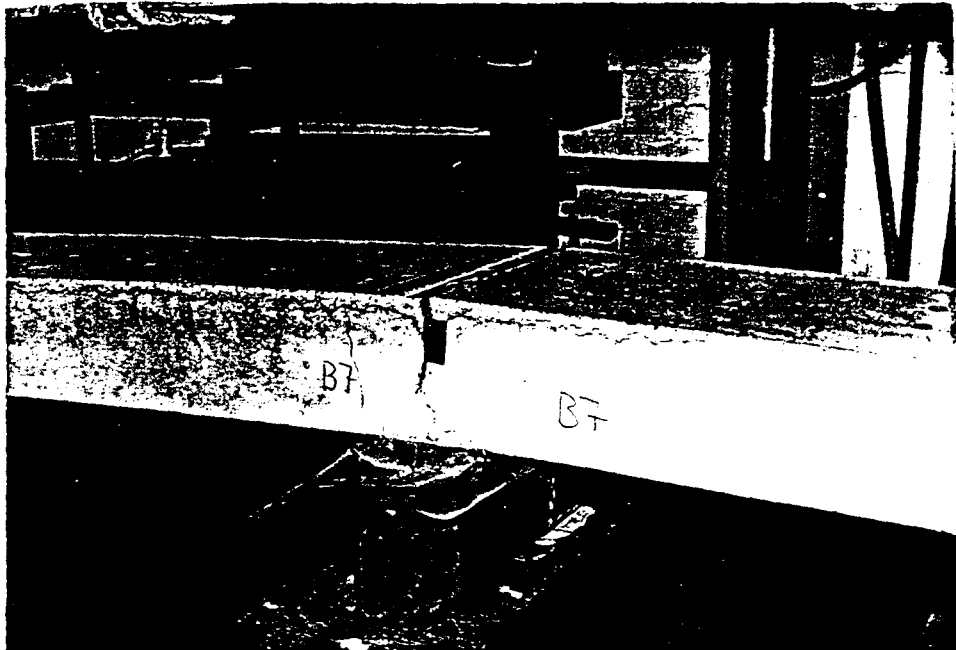
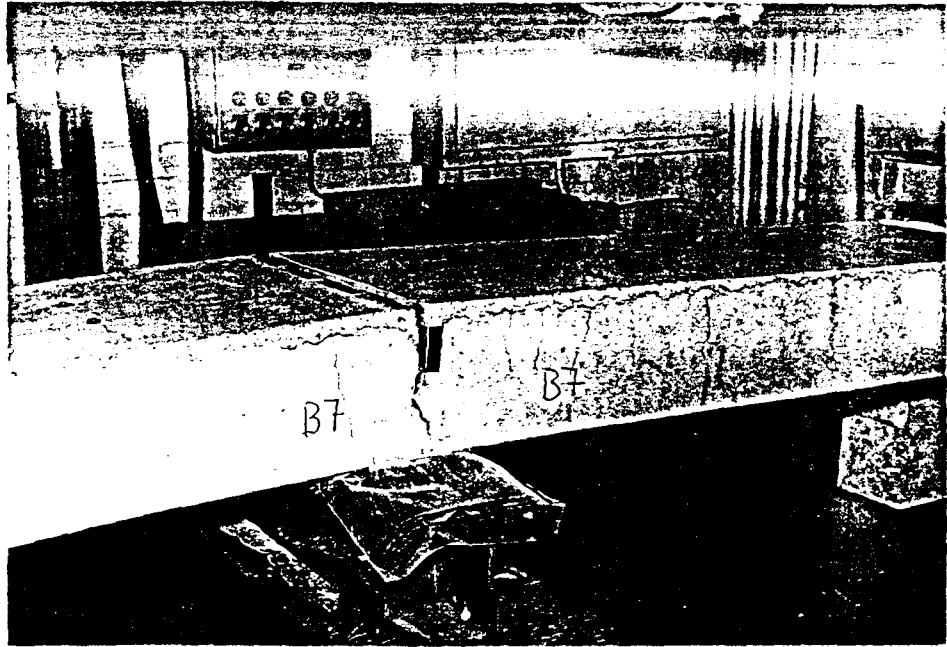
$\mu_o = 0,625$



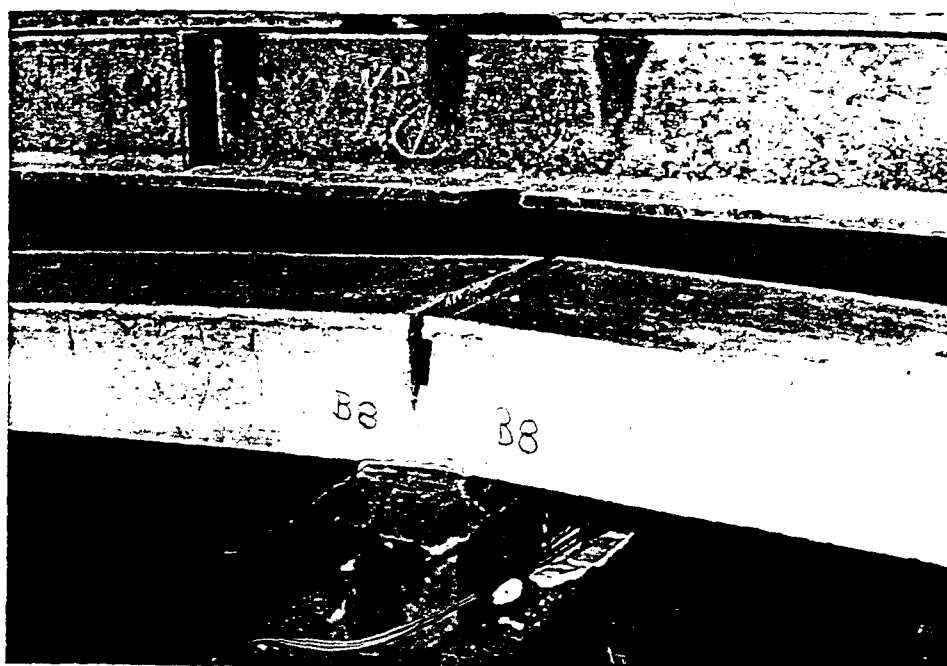
Versuch A 5
 Maschen 100/100
 $\mu_o = 1,401$



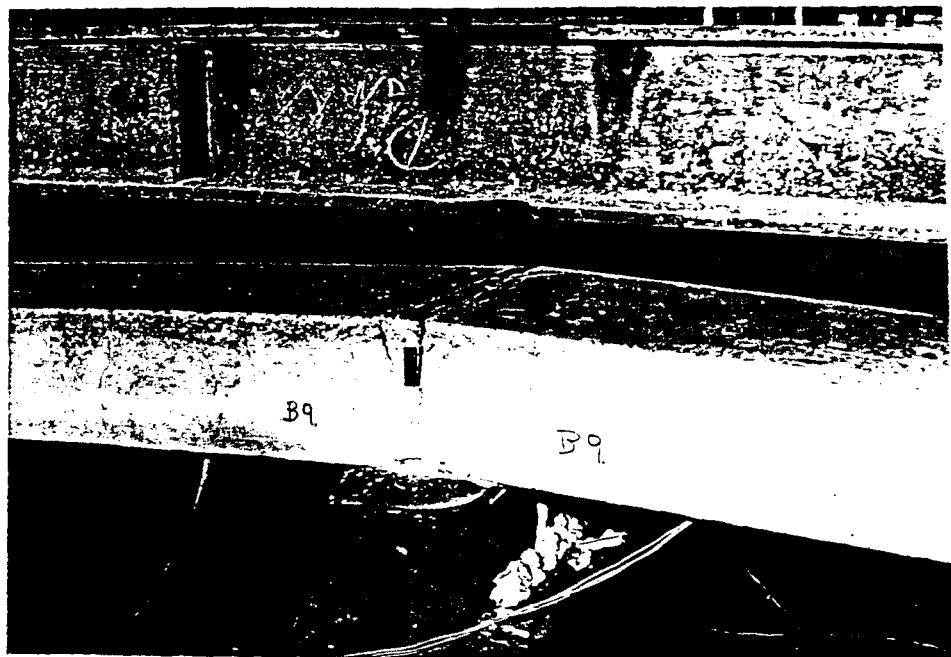
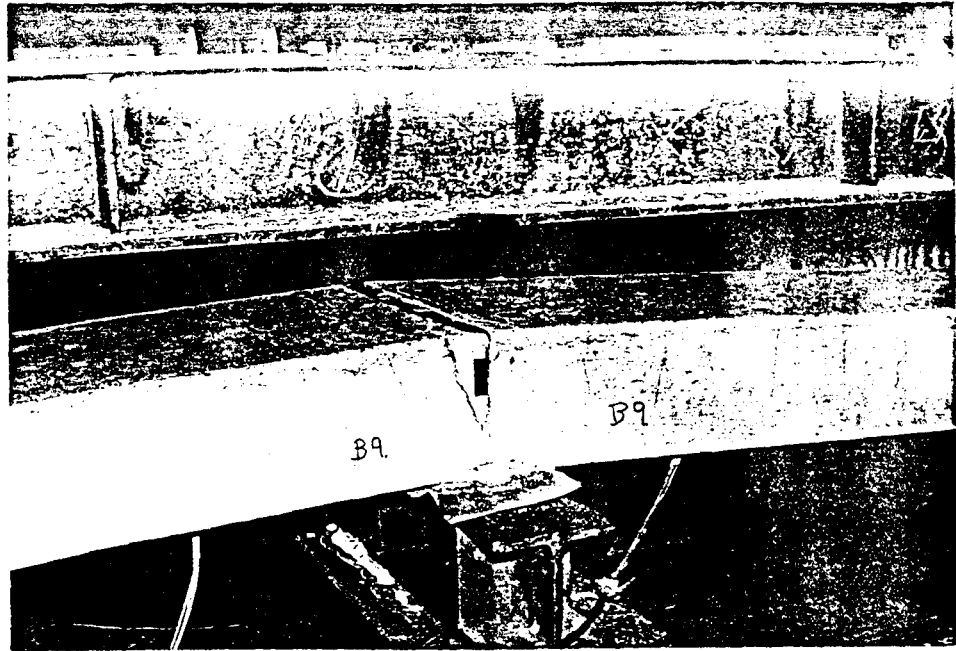
Versuch A 6
 Maschen 100/250
 $\mu_o = 1,410$



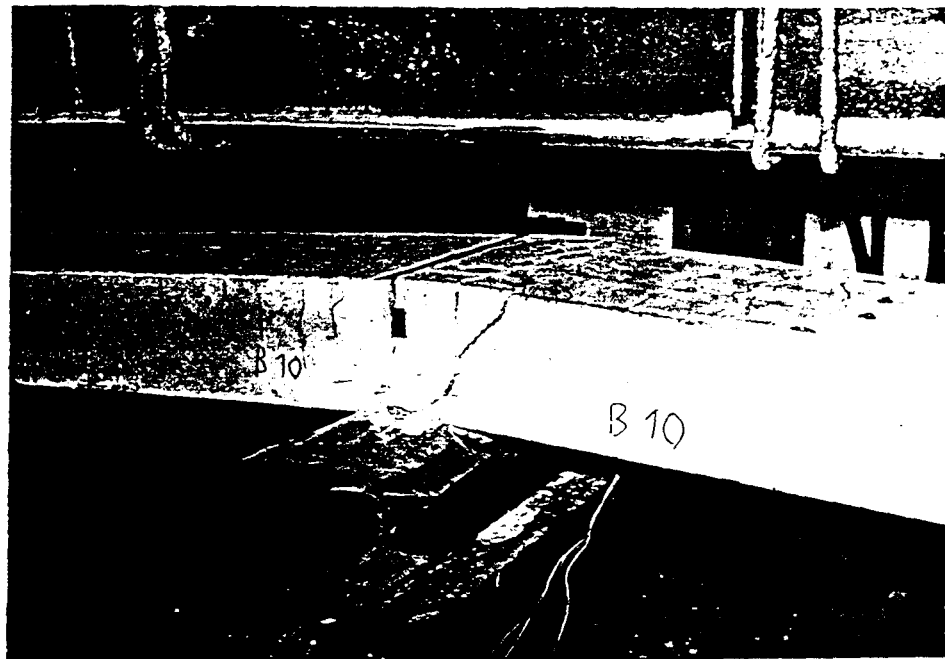
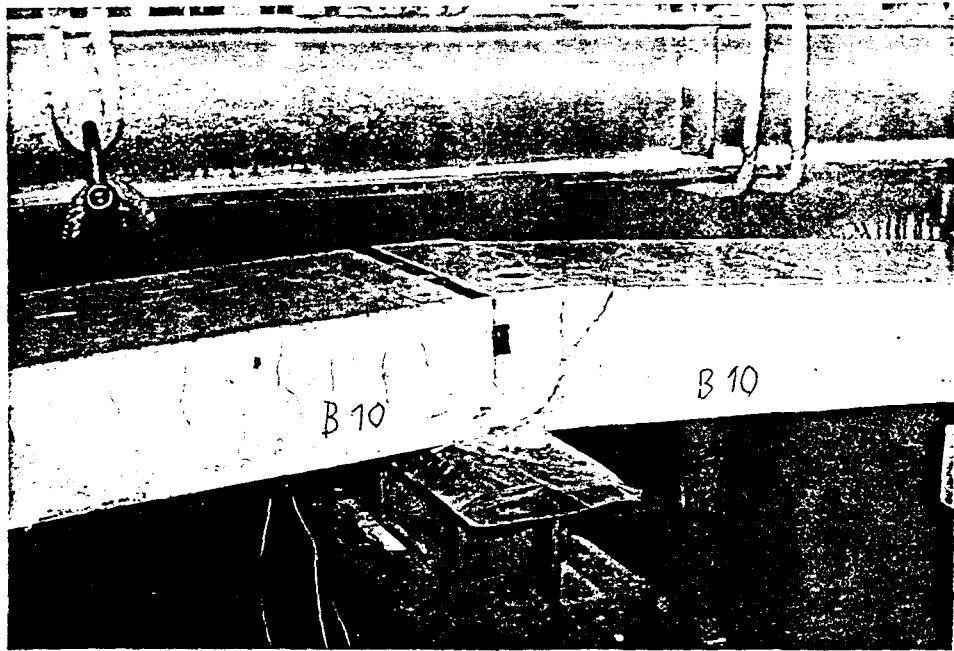
Versuch B 7
Maschen 100/100
 μ_o = 0,194



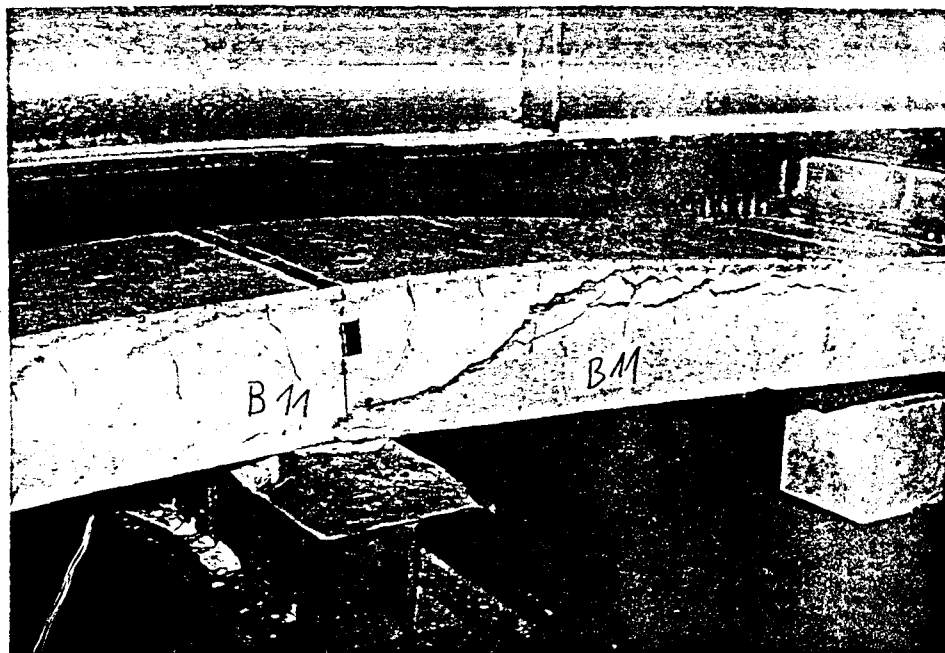
Versuch B 8
 Maschen 100/250
 μ_o = 0,194



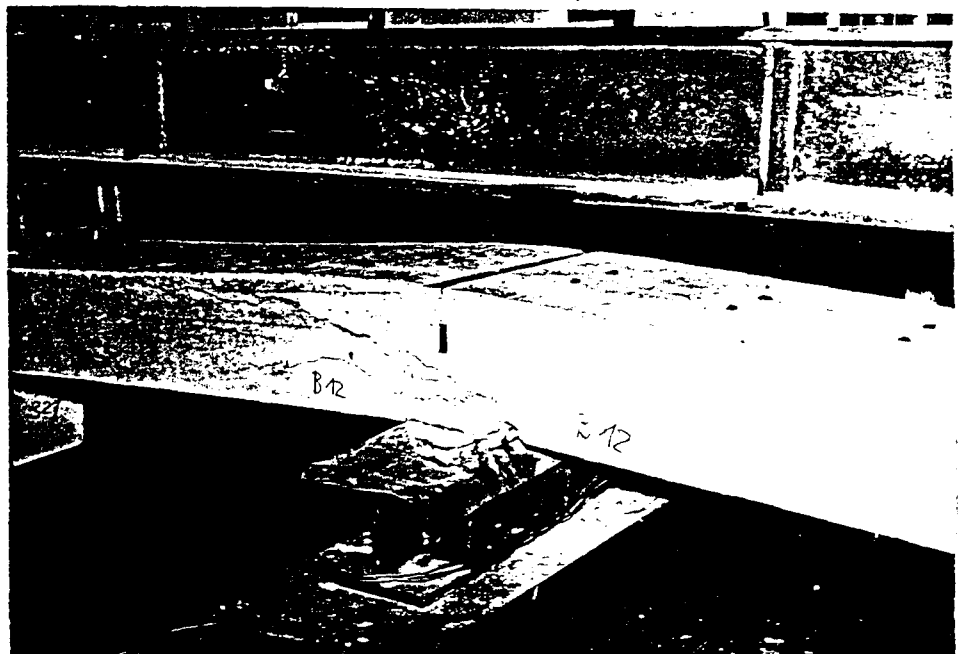
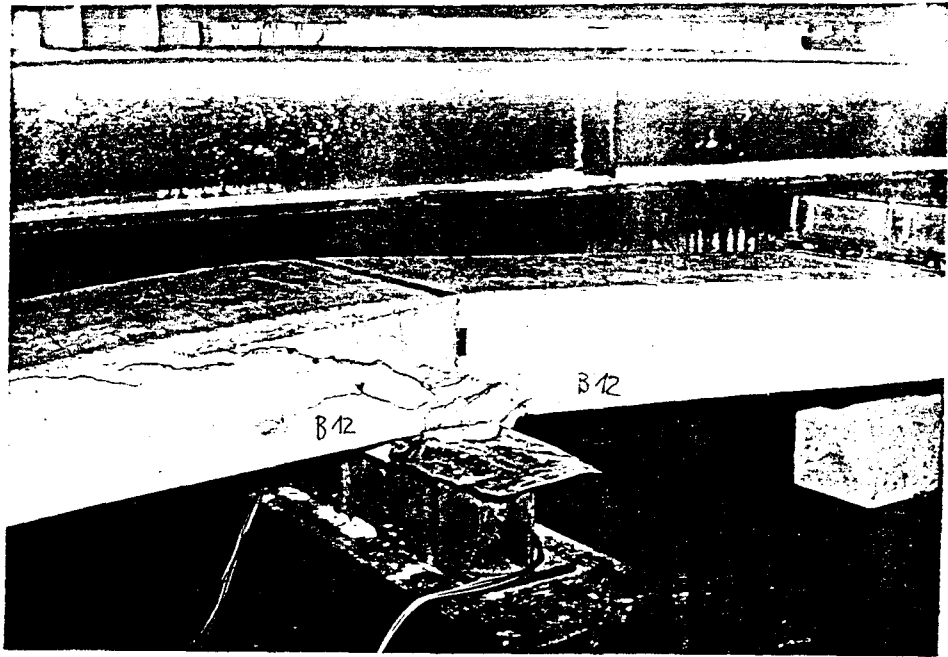
Versuch B 9
 Maschen 100/100
 μ_o = 0,585



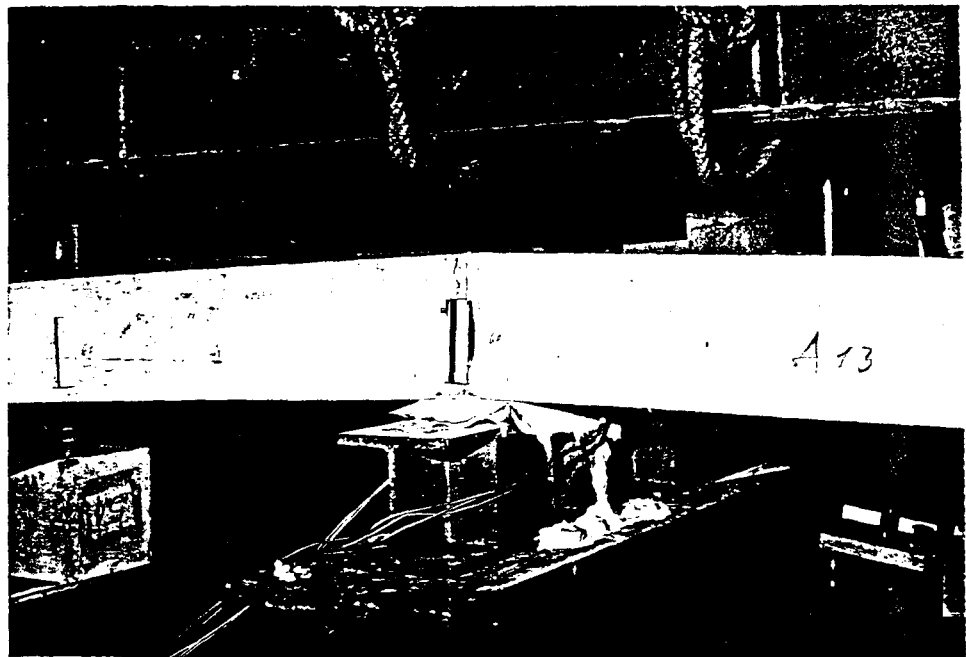
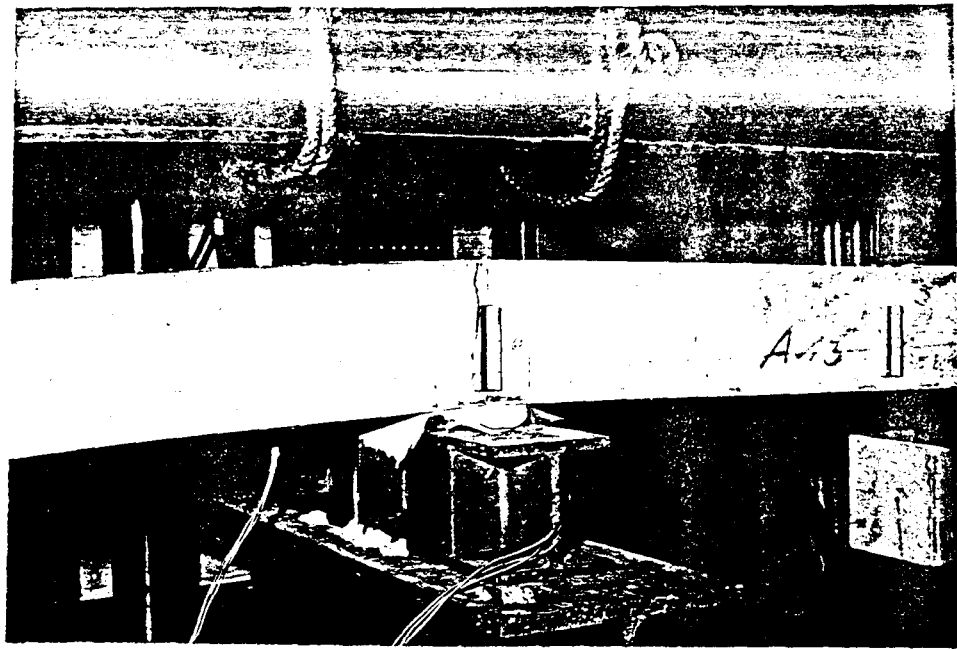
Versuch B 10
 Maschen 100/250
 $\mu_o = 0,584$



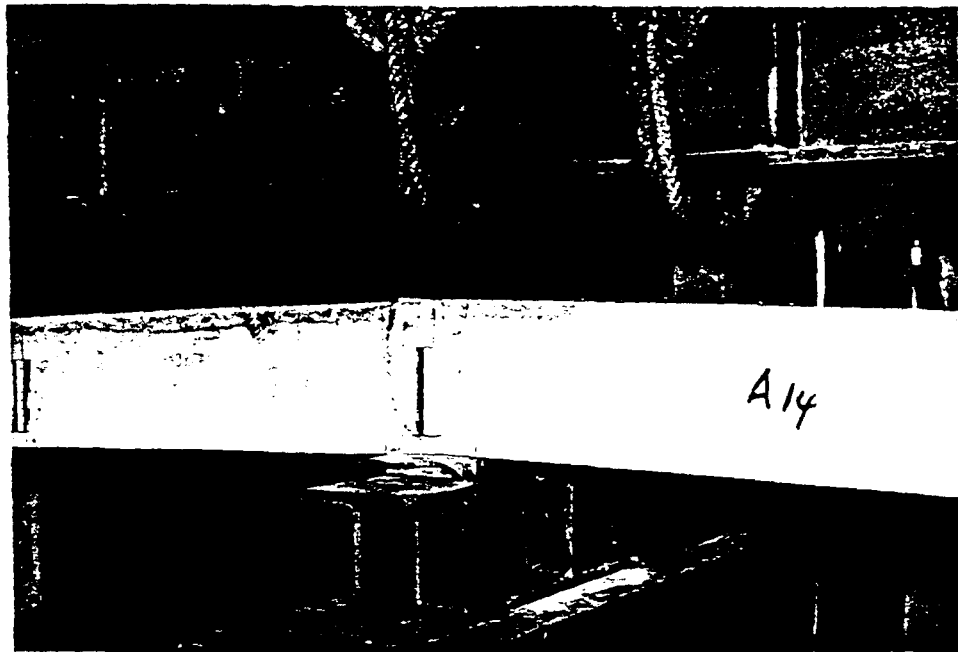
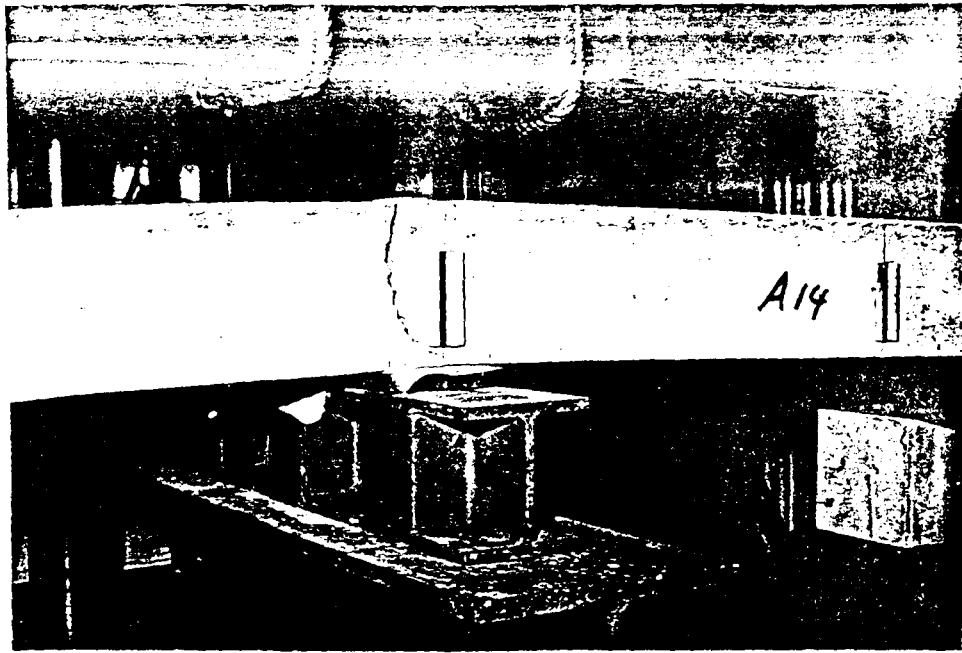
Versuch B 11
 Maschen 100/100
 $\nu_o = 1,465$



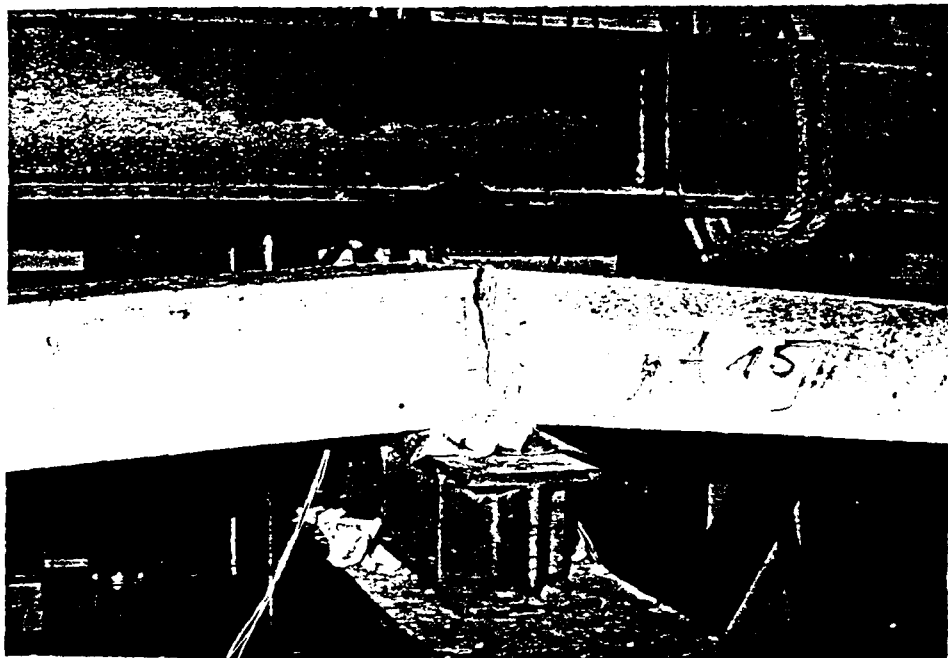
Versuch B 12
 Maschen 100/250
 $\mu_o = 1,458$



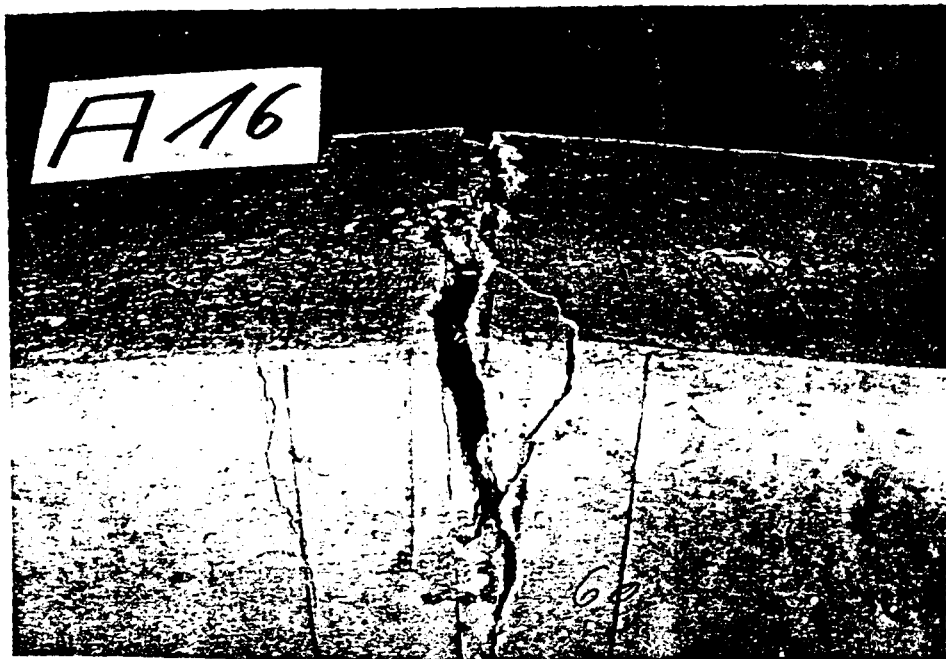
Versuch A 13
 Maschen 100/100
 $\mu_o = 0,204$



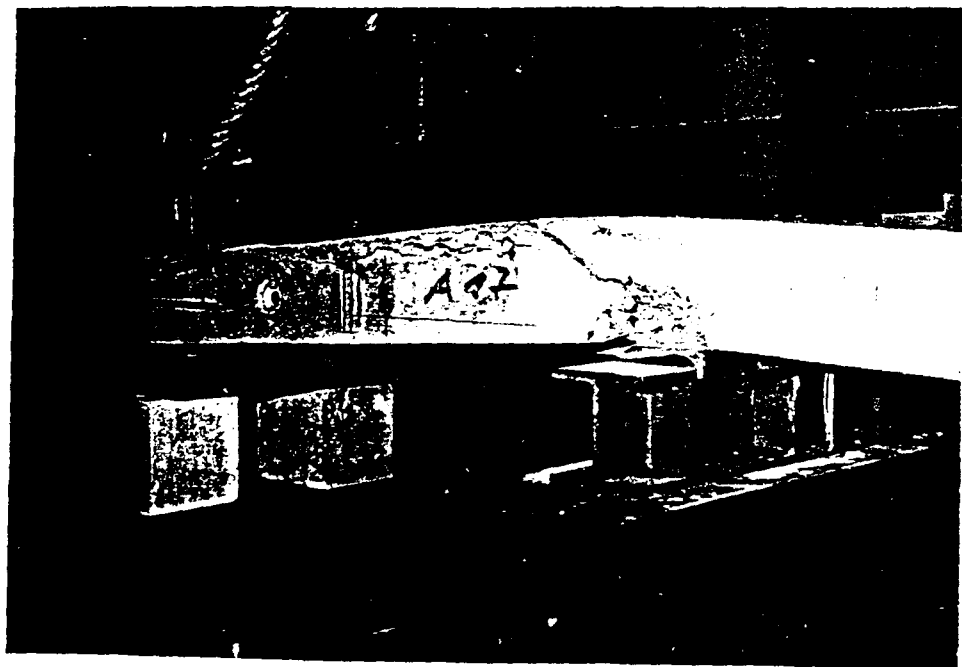
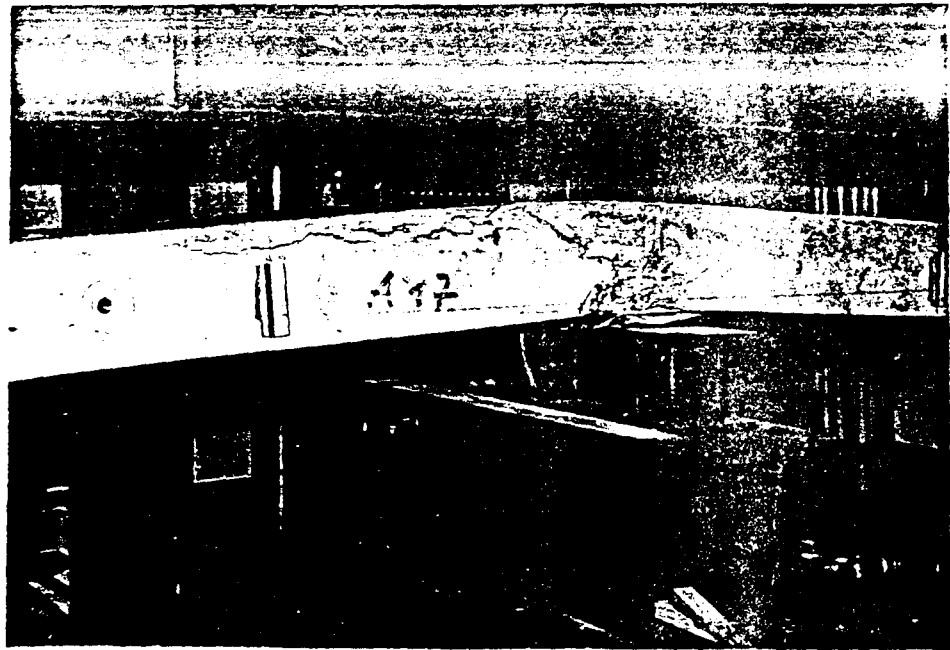
Versuch A 14
 Maschen 100/250
 $\mu_o = 0,204$



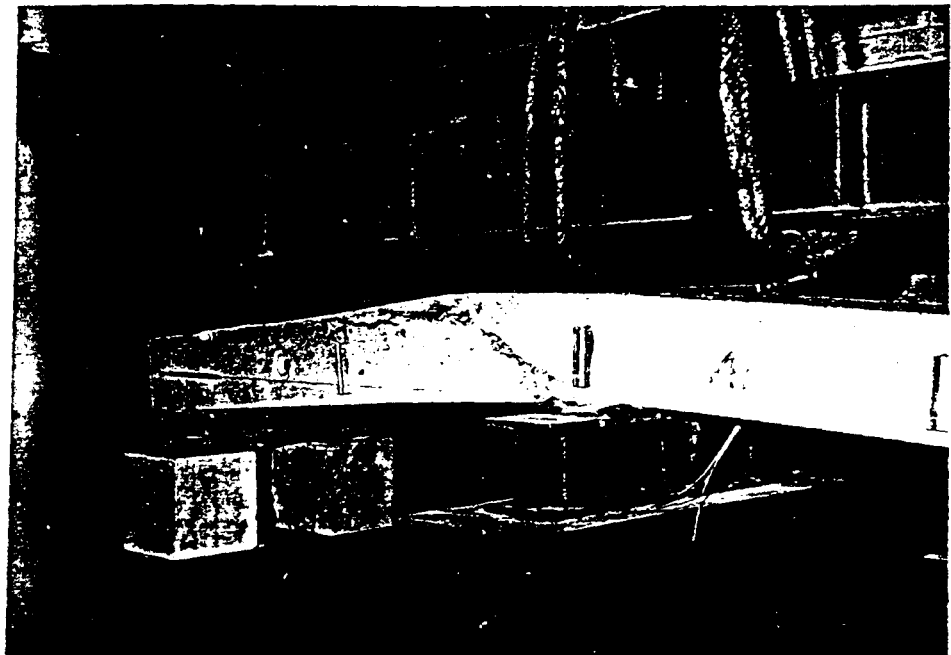
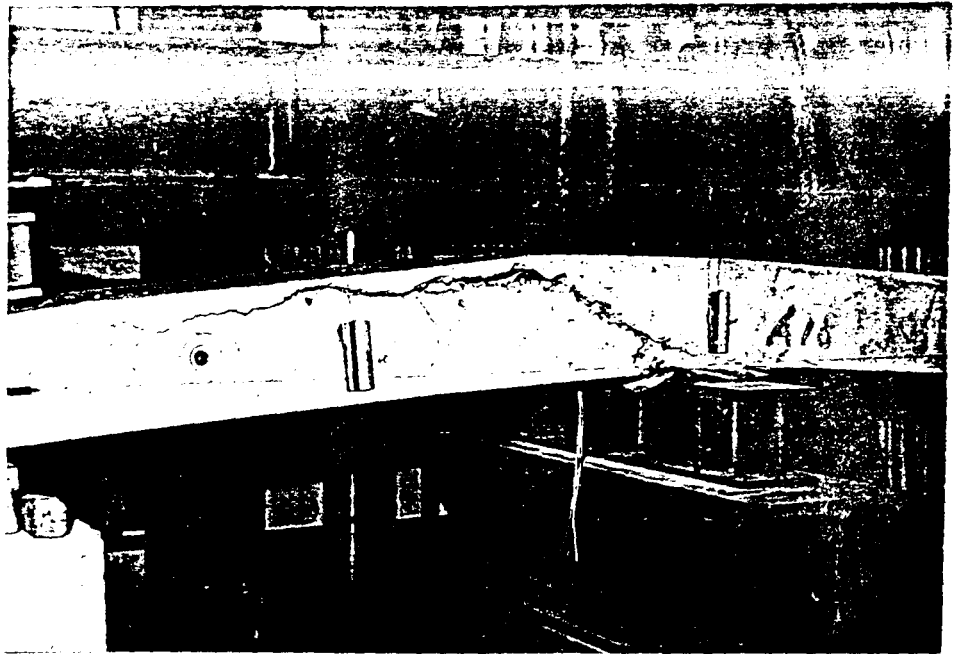
Versuch A 15
Maschen 100/100
 $\mu_o = 0,628$



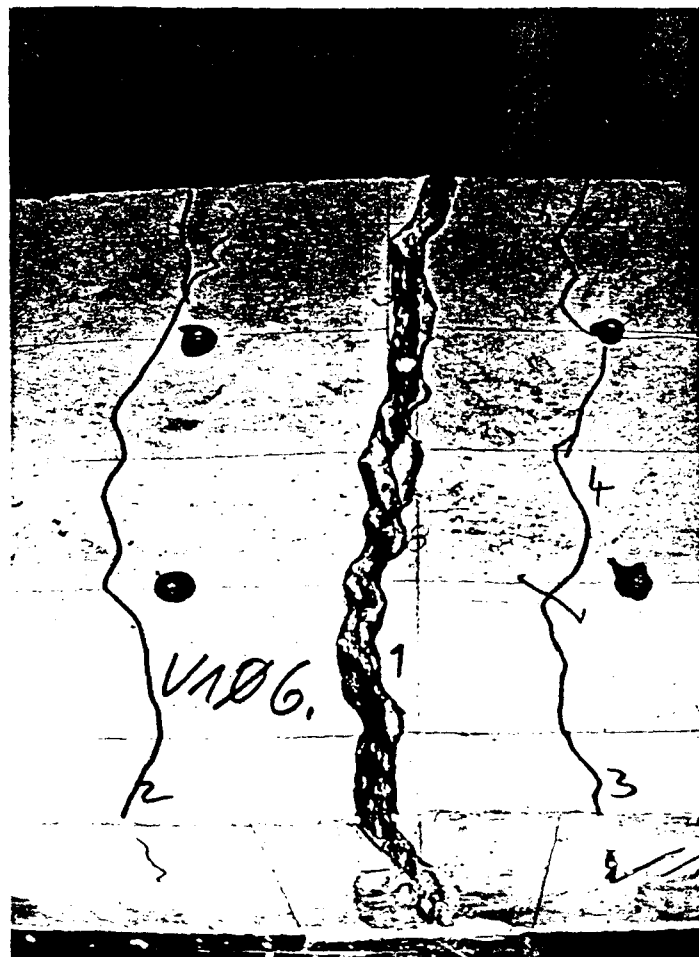
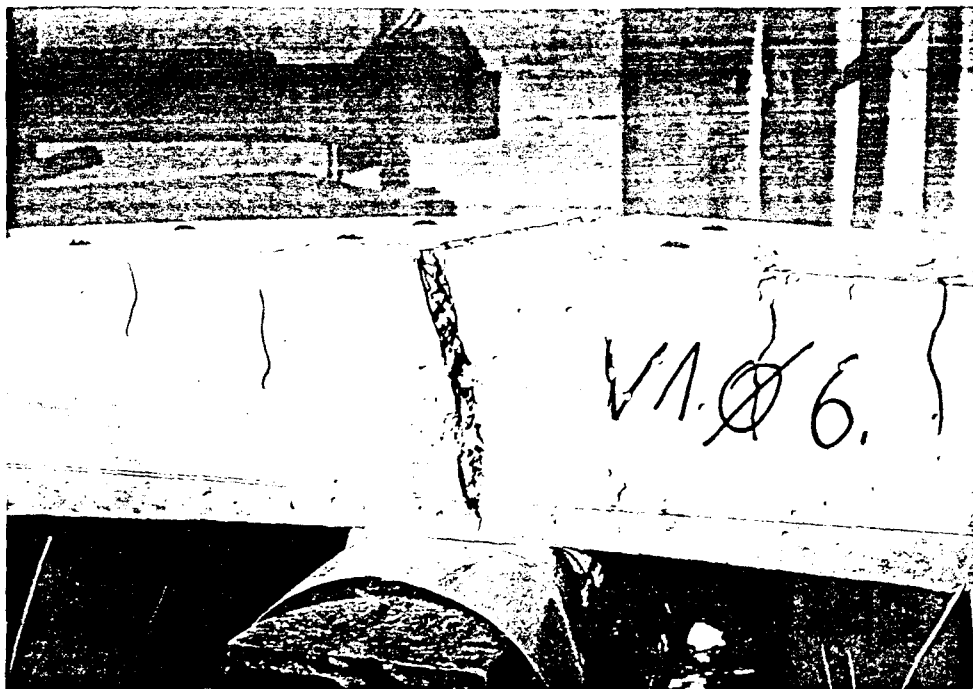
Versuch A 16
 Maschen 100/250
 μ_o = 0,625



Versuch A 17
 Maschen 100/100
 $\mu_o = 1,401$



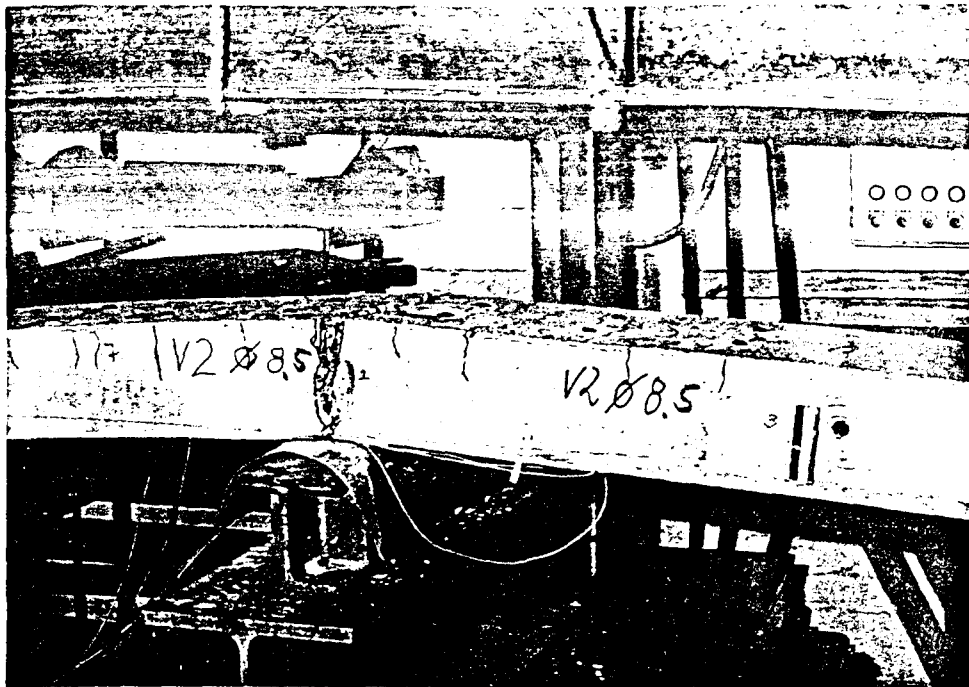
Versuch A 18
 Maschen 100/250
 $\mu_o = 1,410$



Versuch E 19 (V 1)

Einzelstabbewehrung

$\mu_o = 0,229$

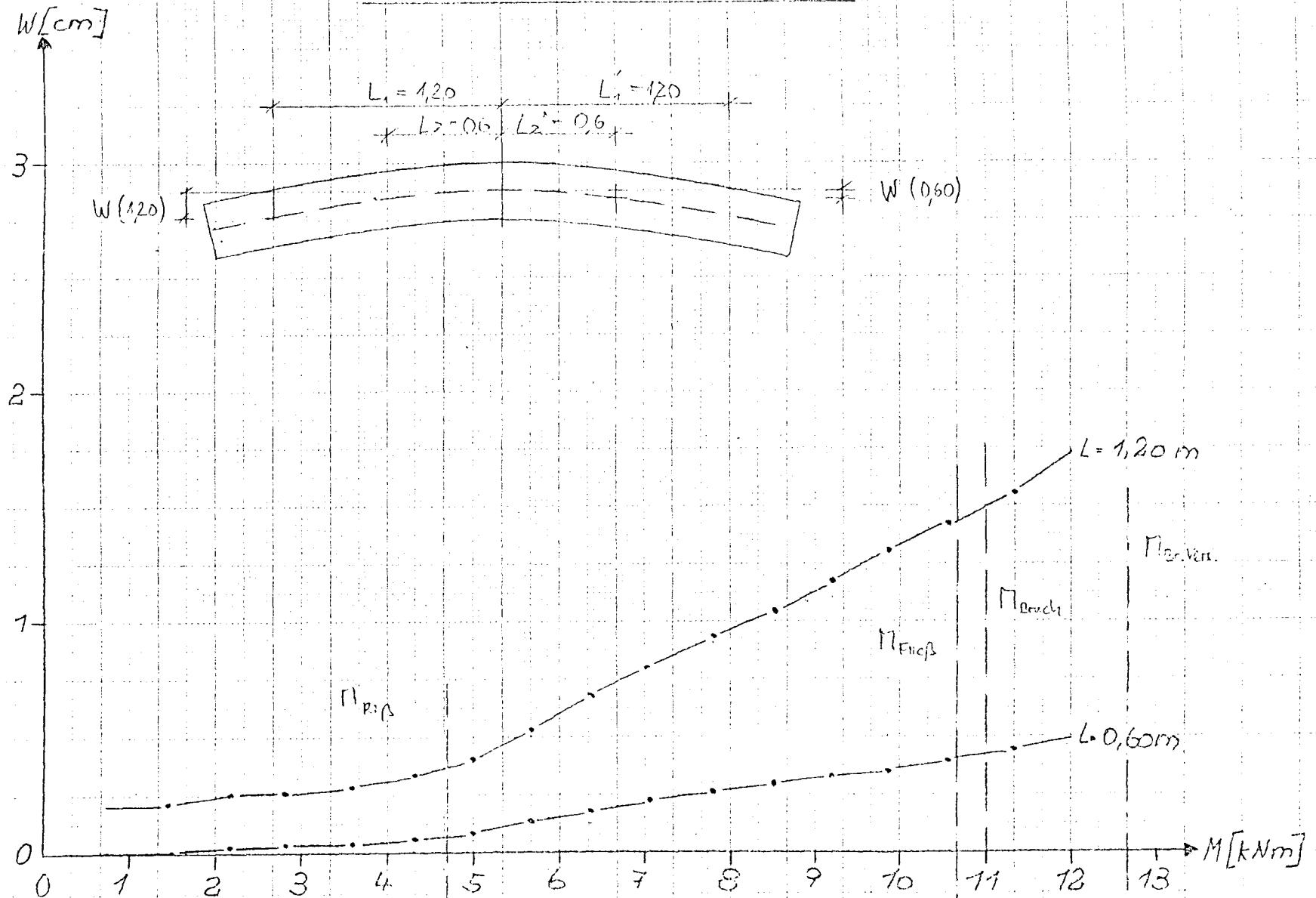


Versuch E 20 (V 2)

Einzelstabbewehrung

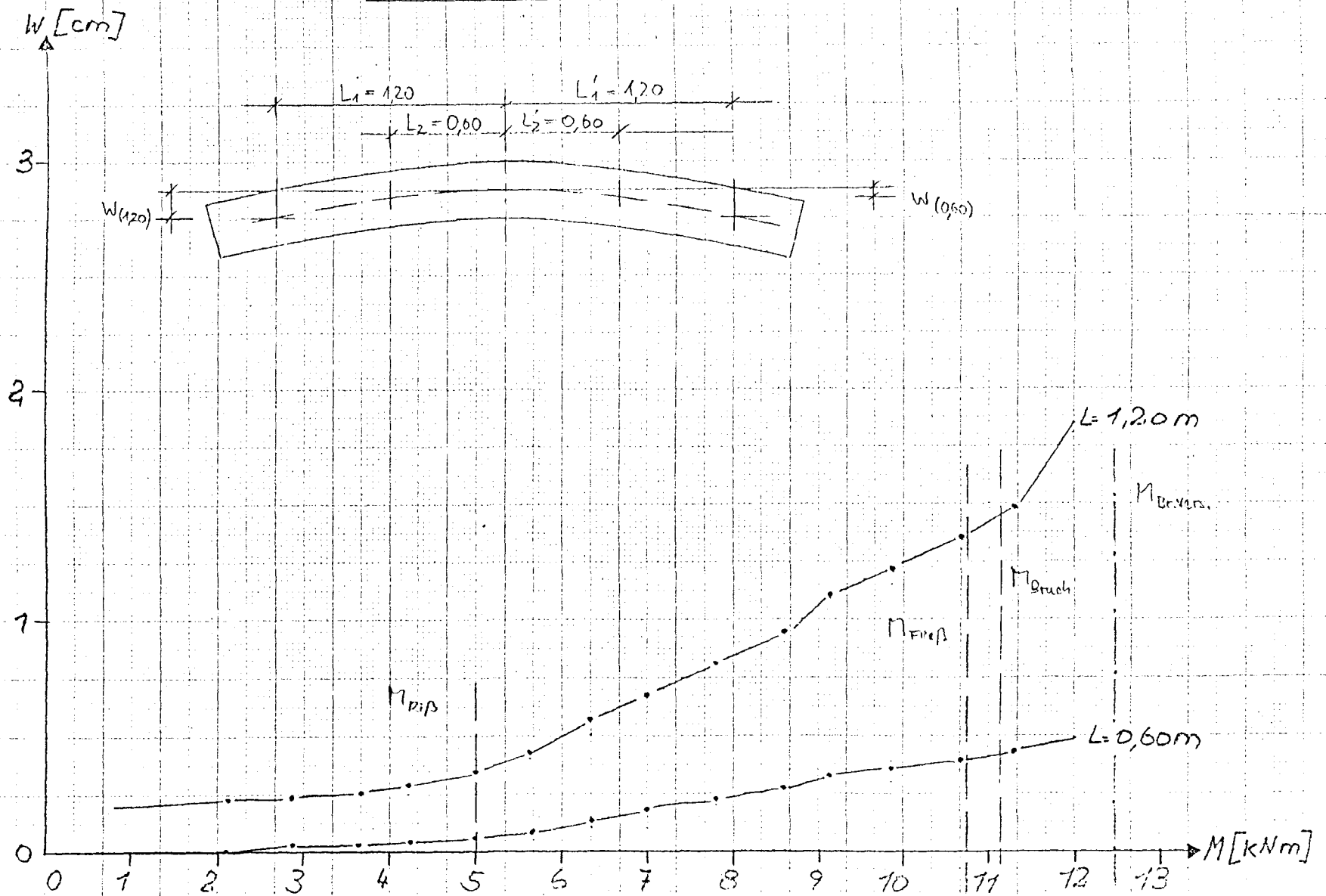
$\mu_o = 0,442$

Versuch: A1 Durchbiegungen

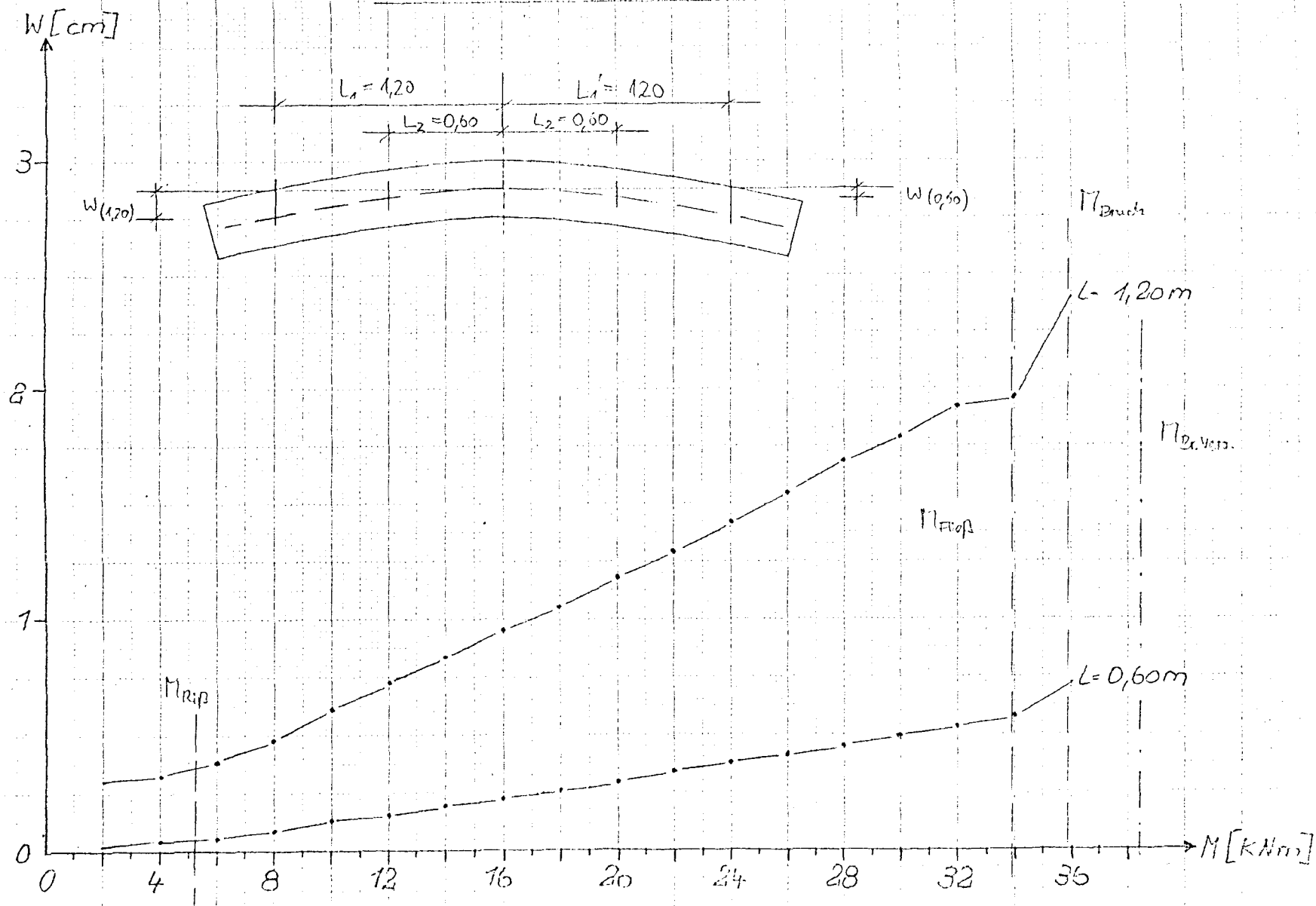


Anlage 2 (A1 ÷ E20)

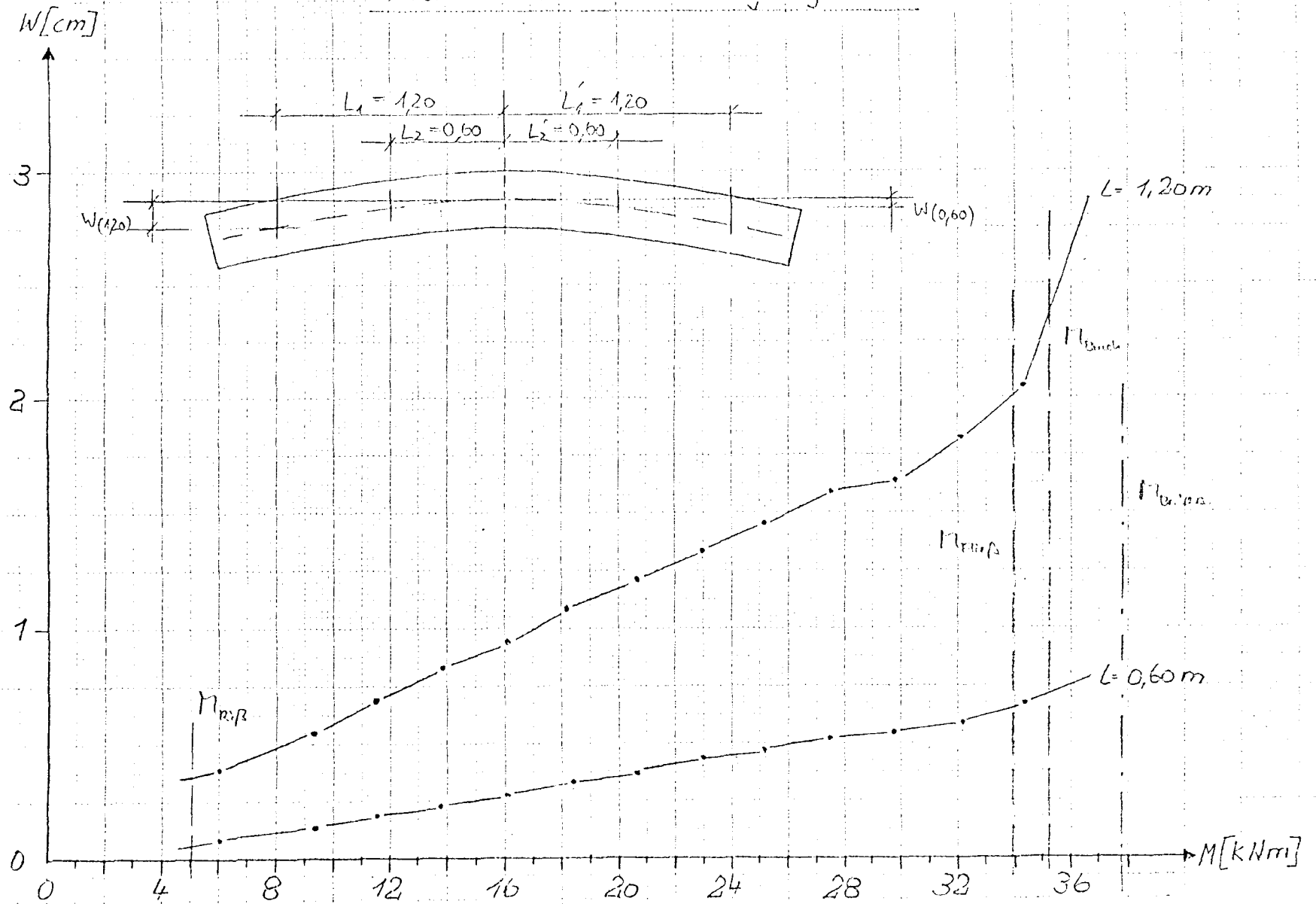
Versuch A2 Durchbiegungen



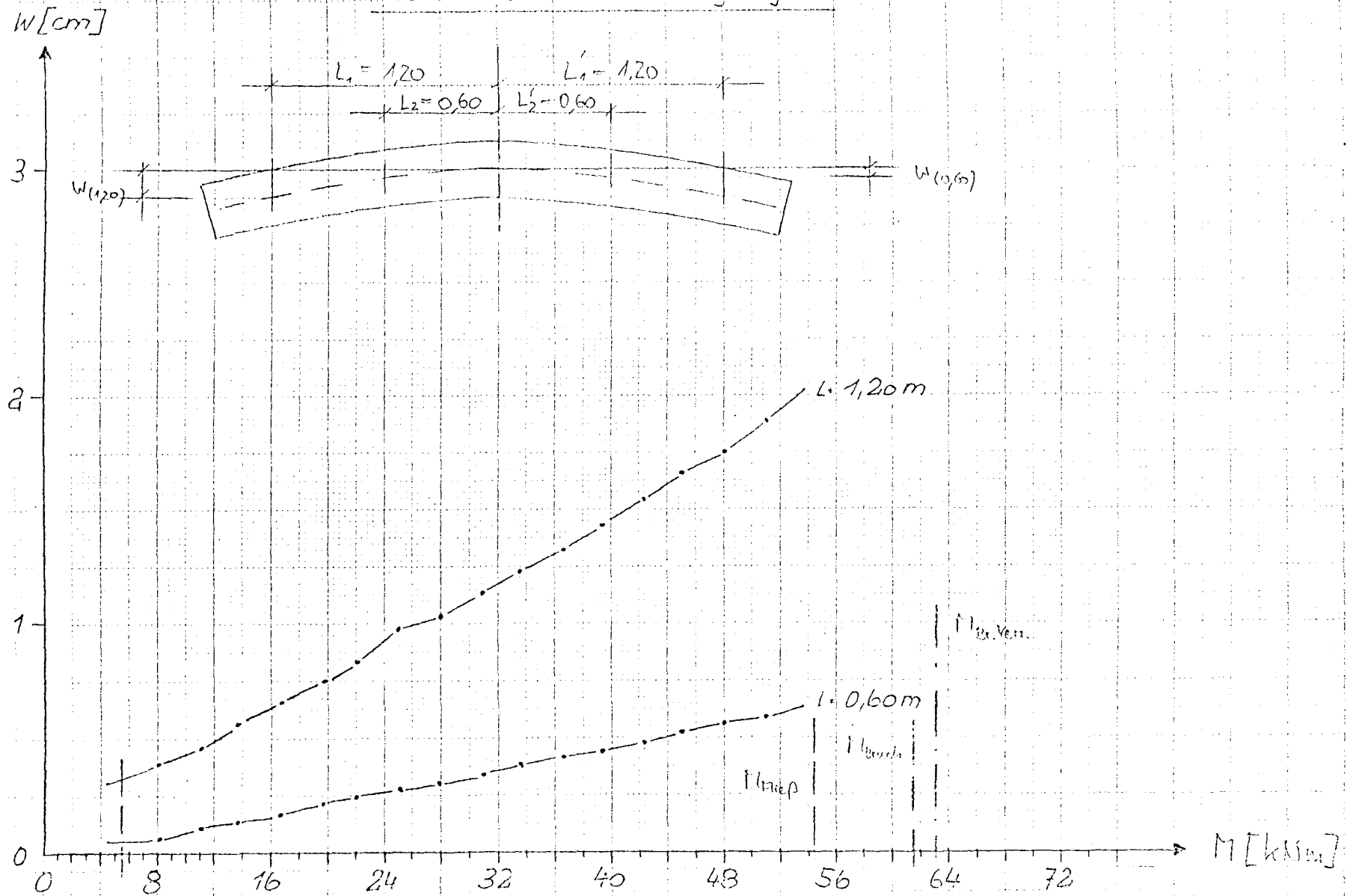
Versuch: A3 Durchbiegungen



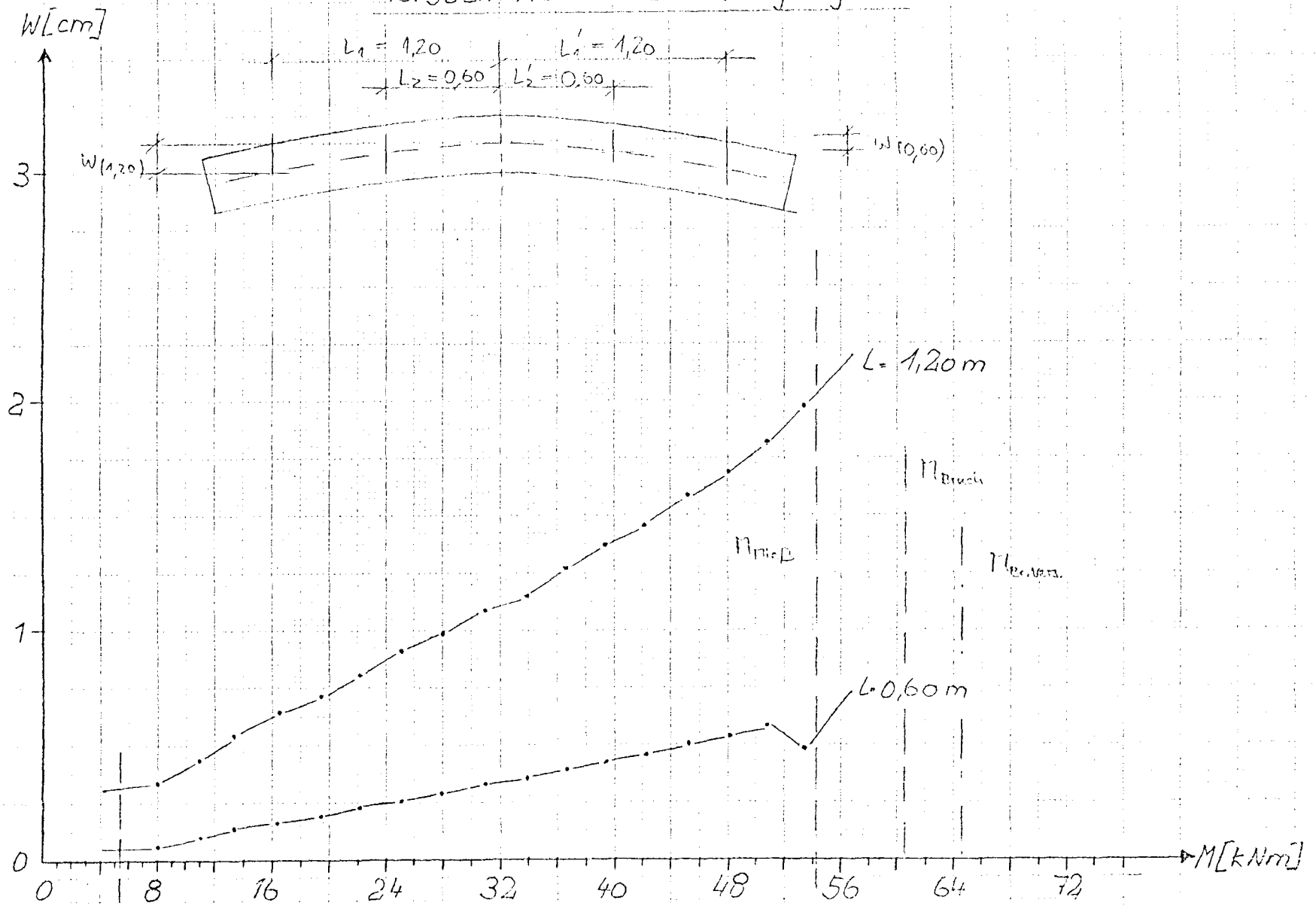
Versuch: A 4 Durchbiegungen

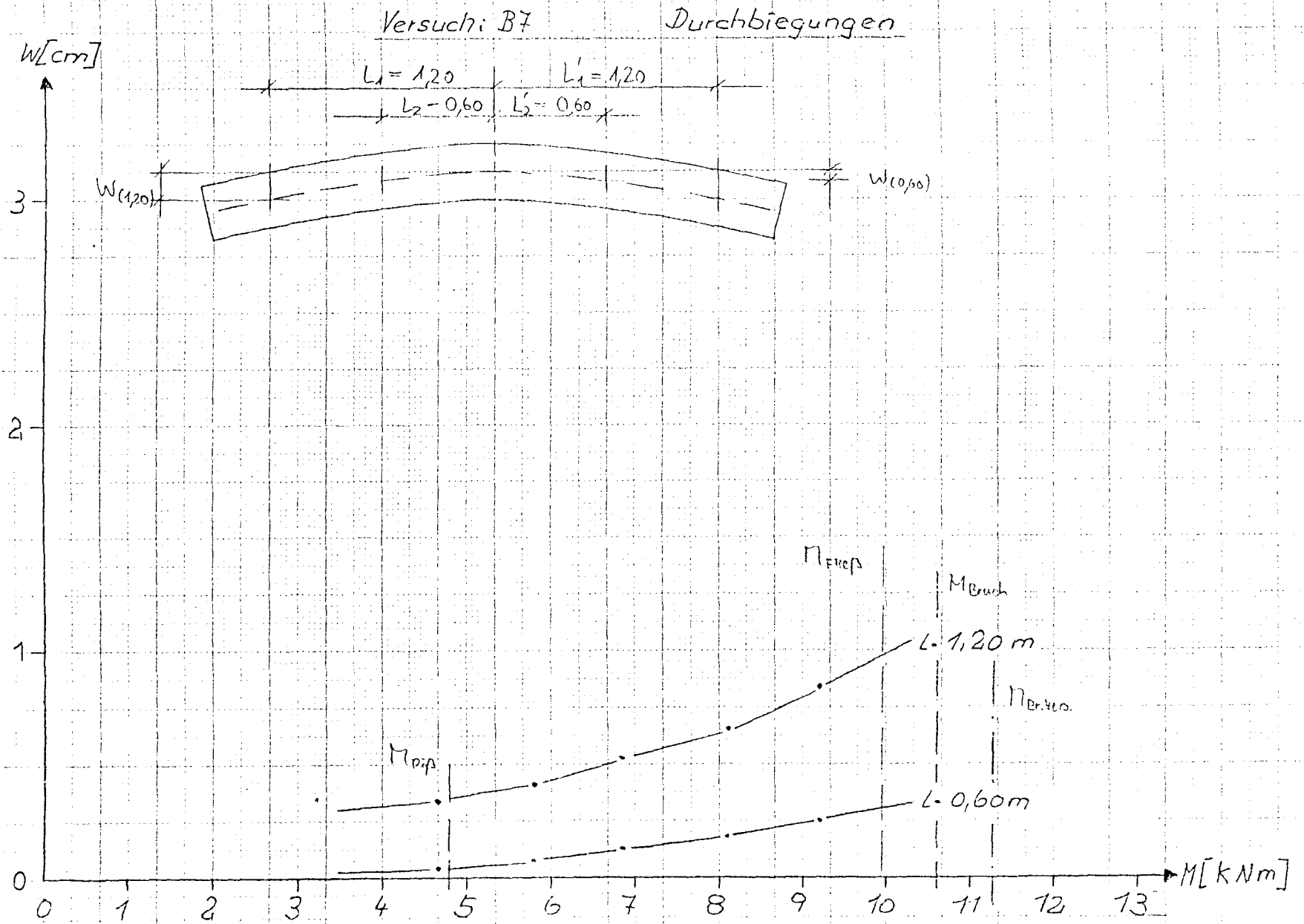


Versuch: A5 Durchbiegungen



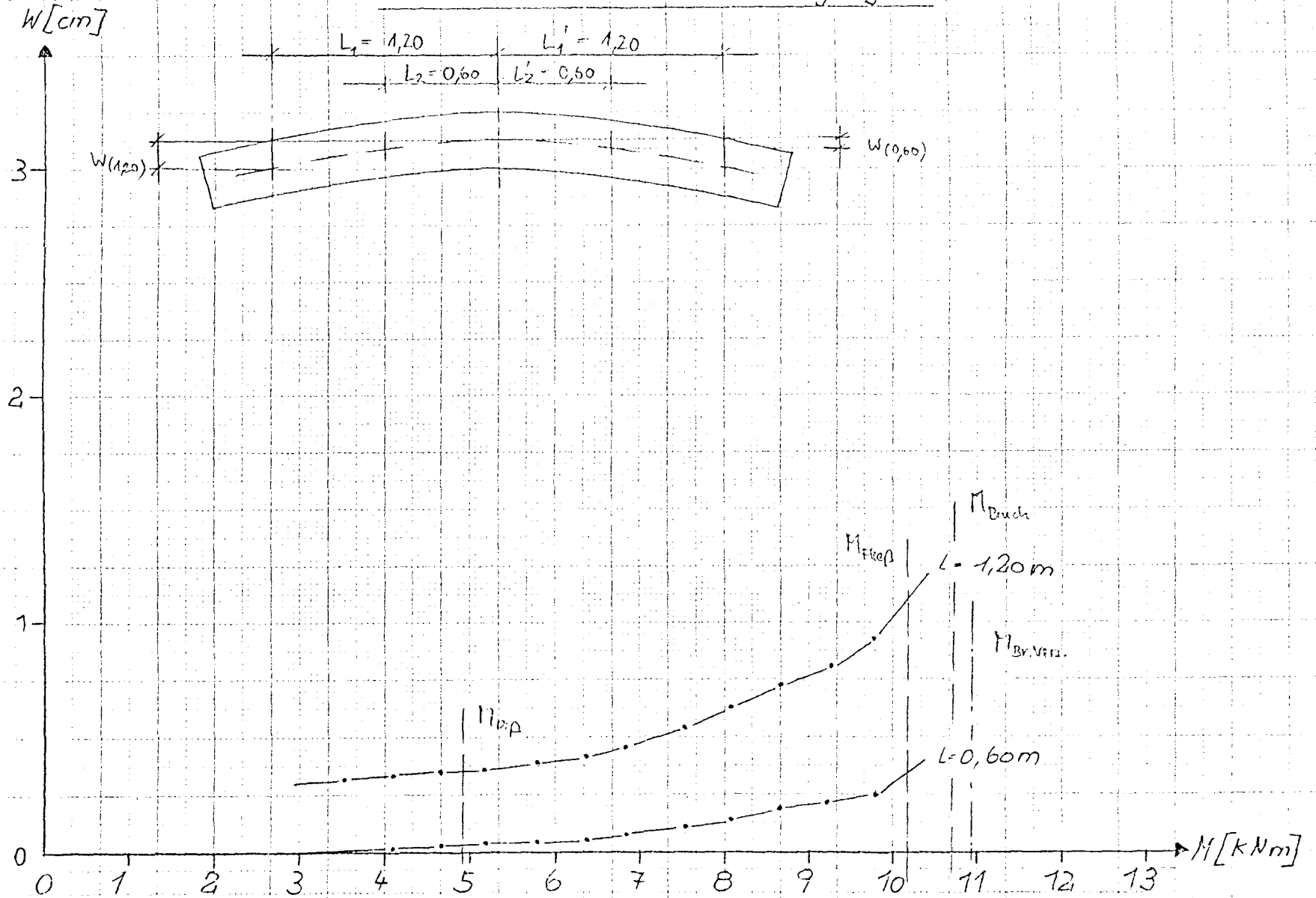
Versuch: A6 Durchbiegungen





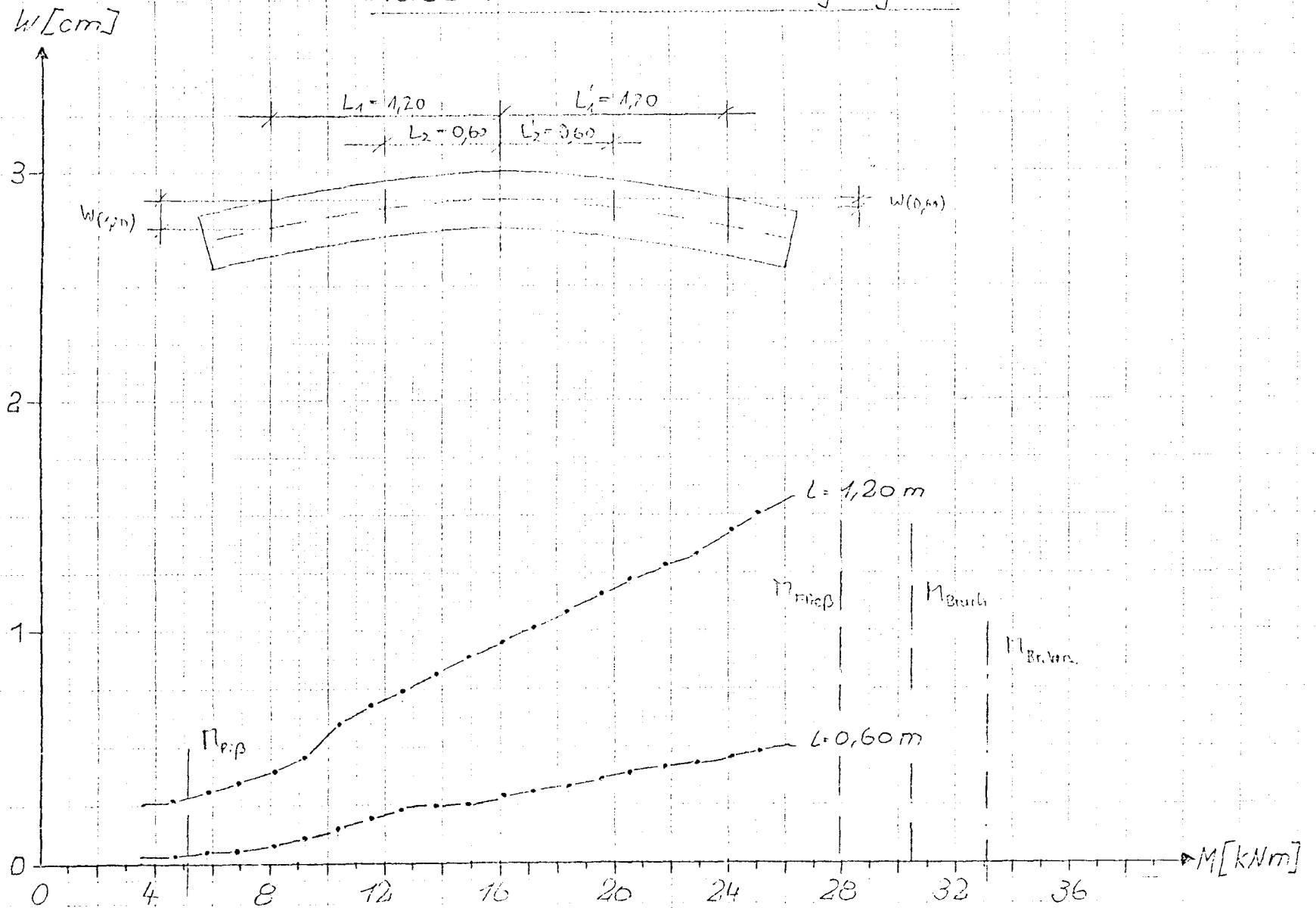
Versuch: B8

Durchbiegungen

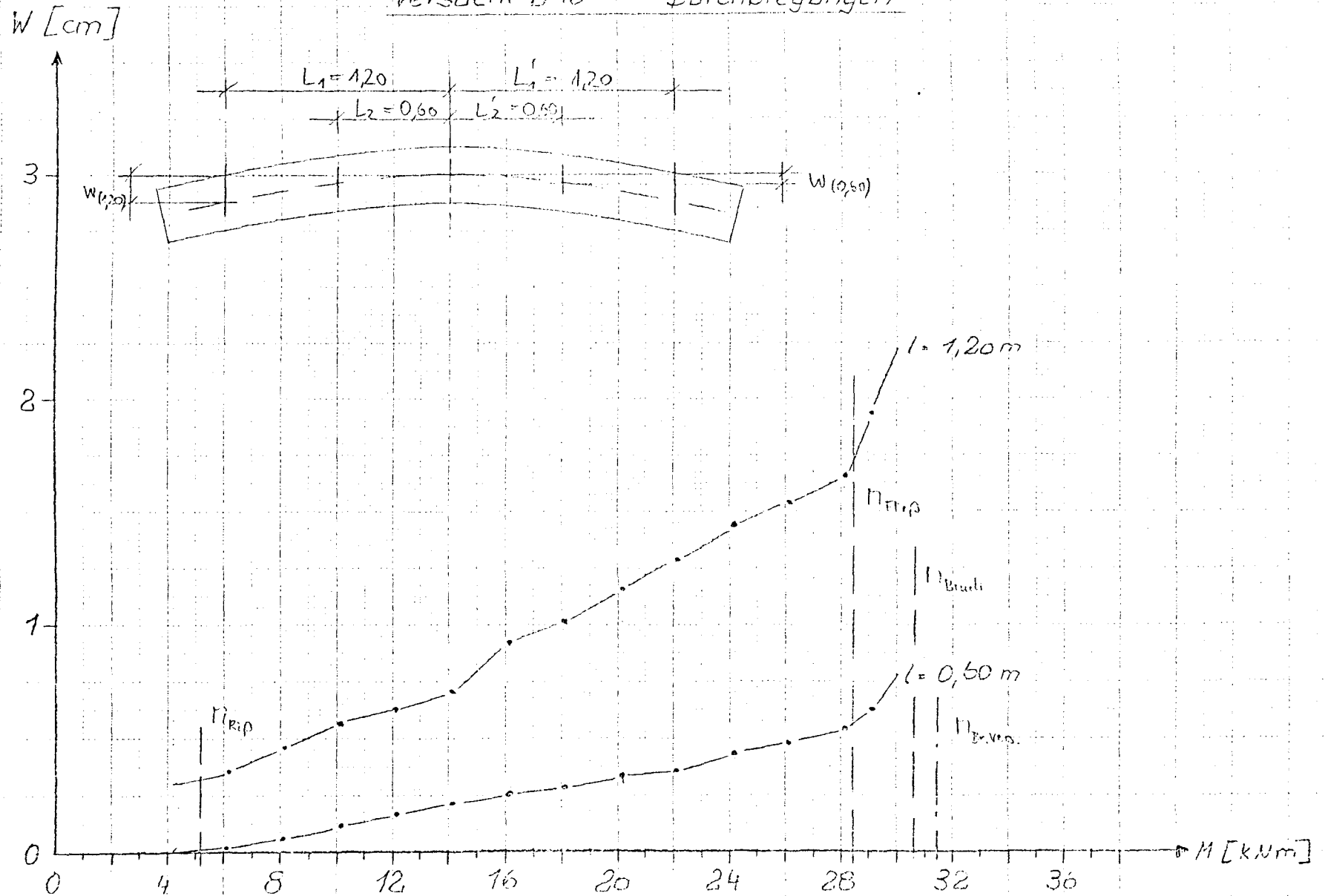


Versuch: B9

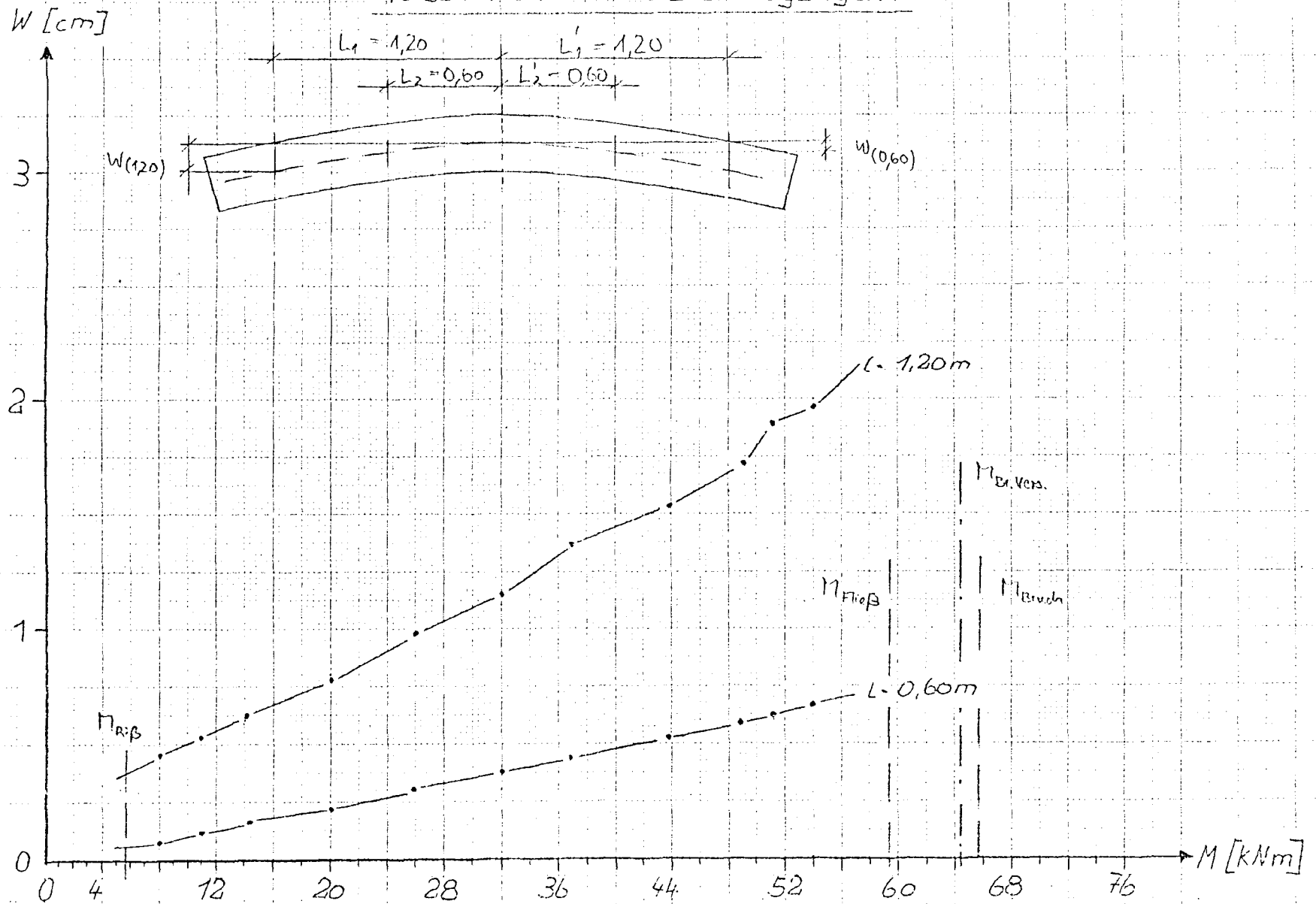
Durchbiegungen



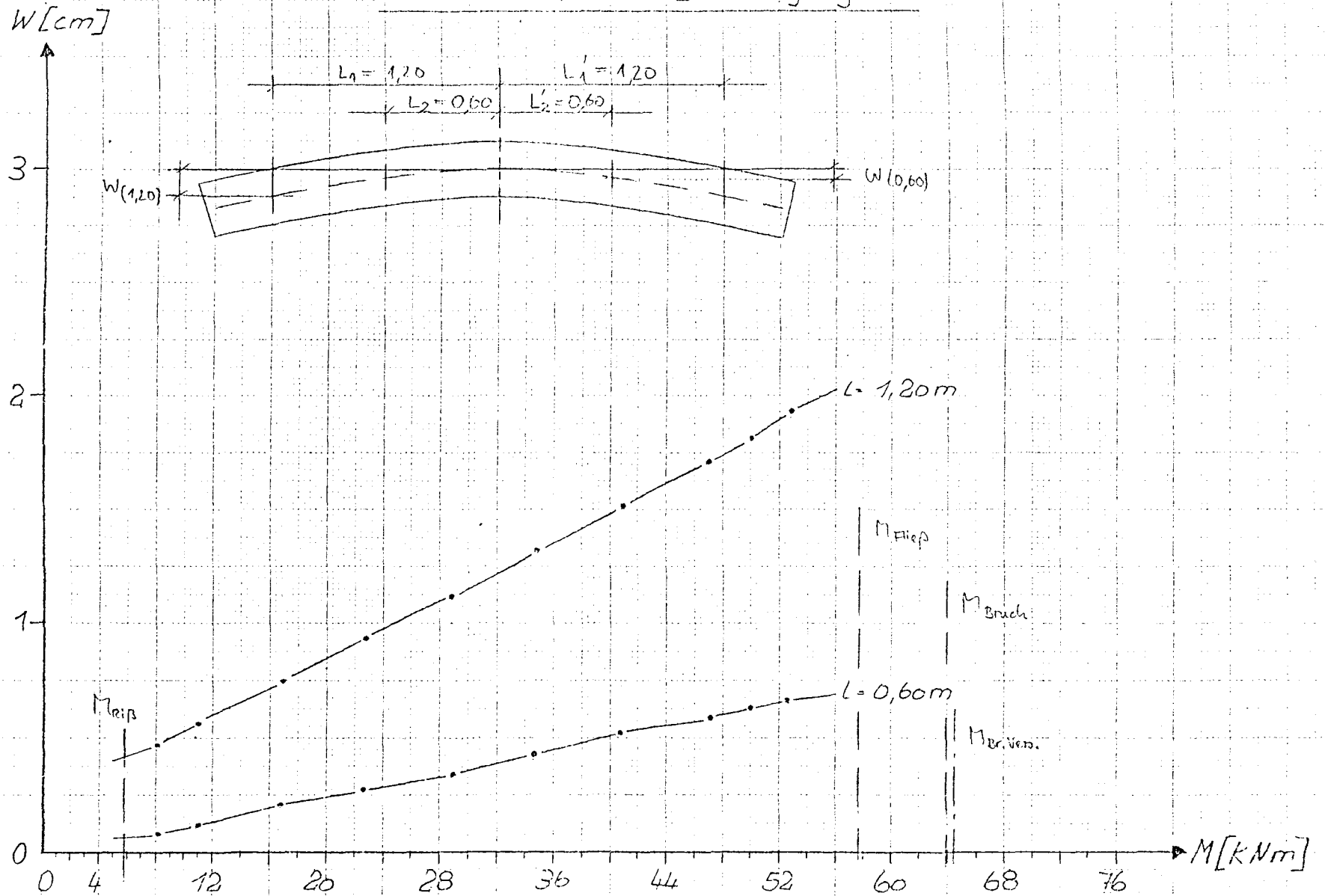
Versuch: B 10 Durchbiegungen



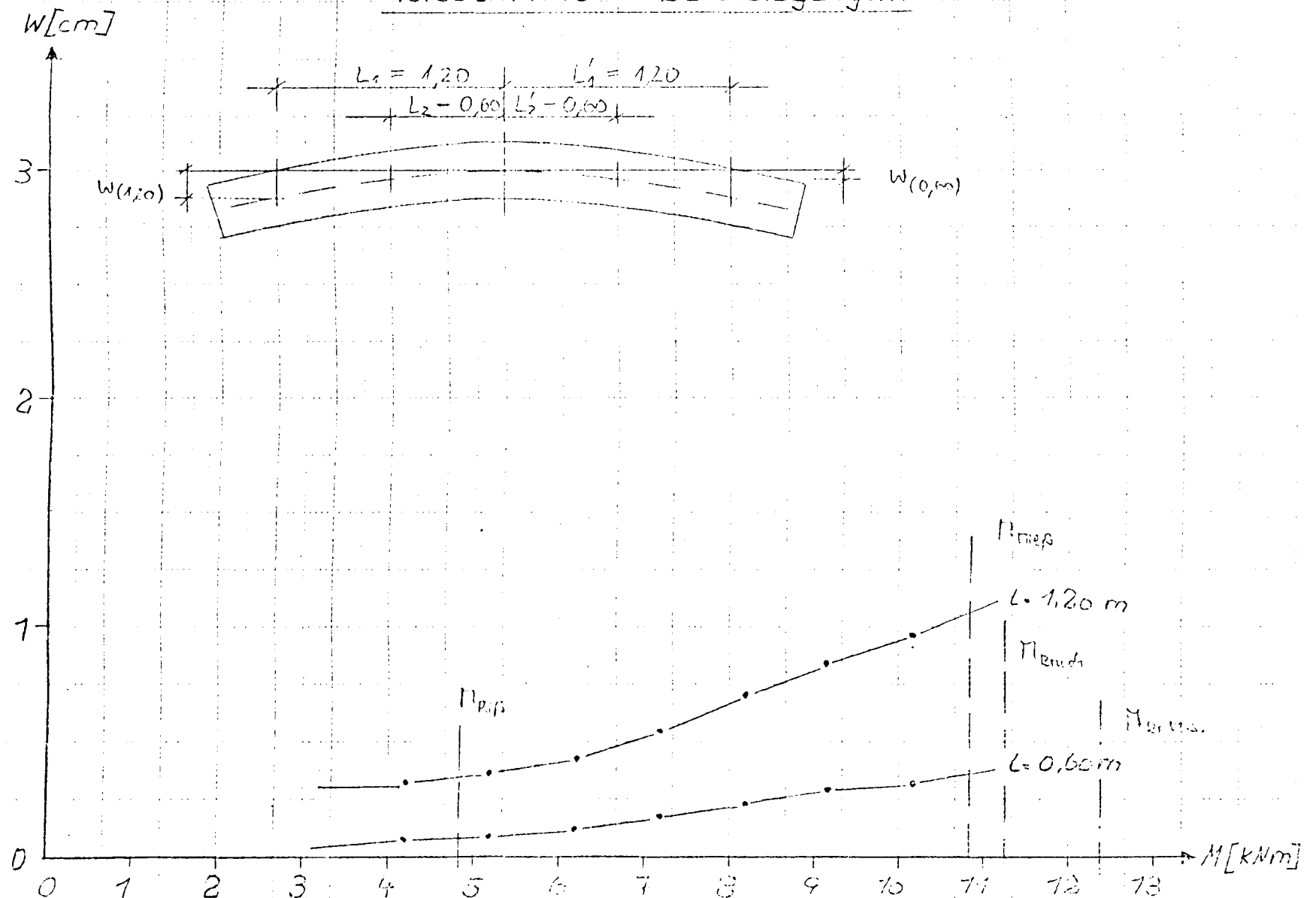
Versuch: B11 Durchbiegungen



Versuch: B 12 Durchbiegungen

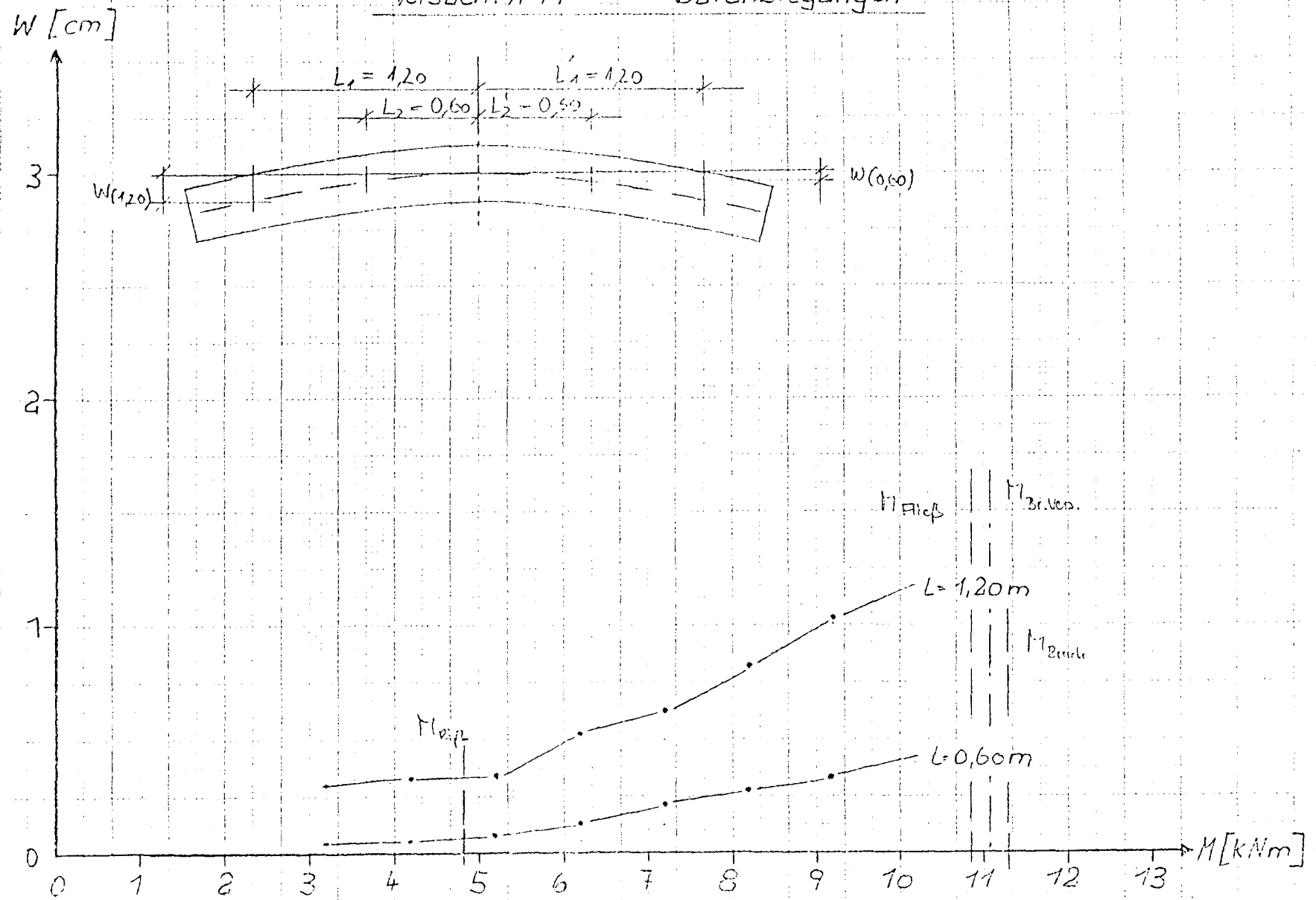


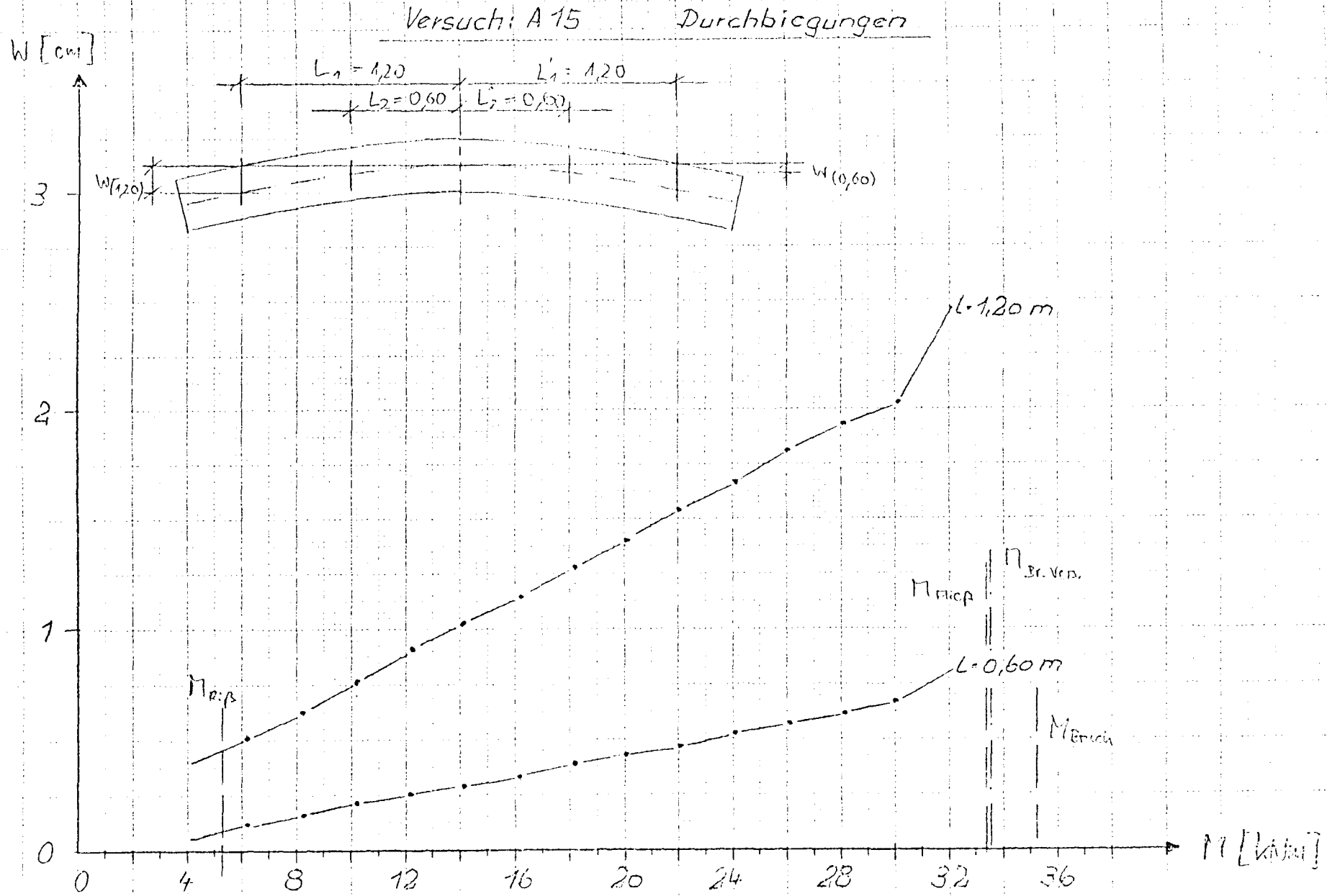
Versuch: A 13 Durchbiegungen



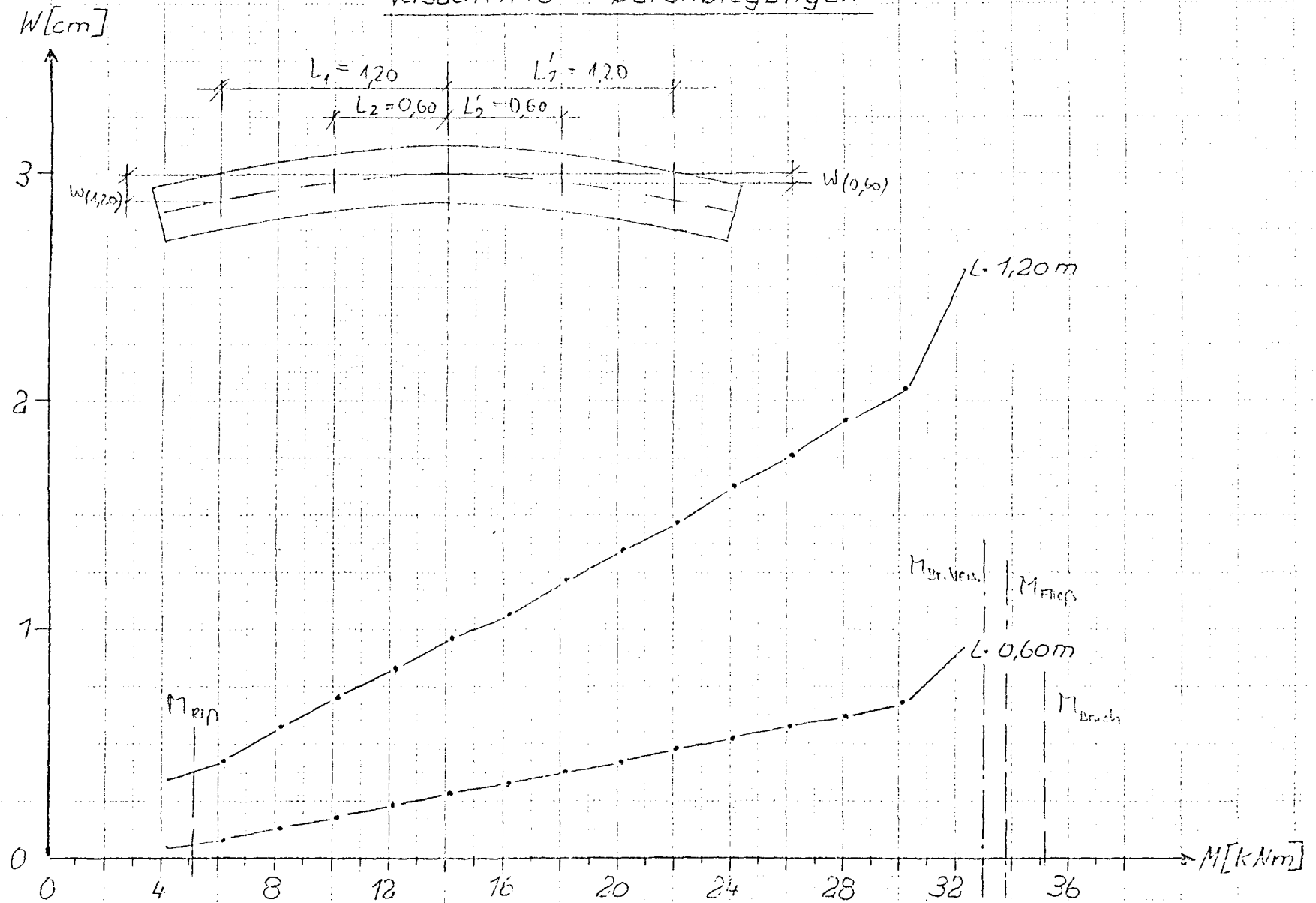
Versuch A 14

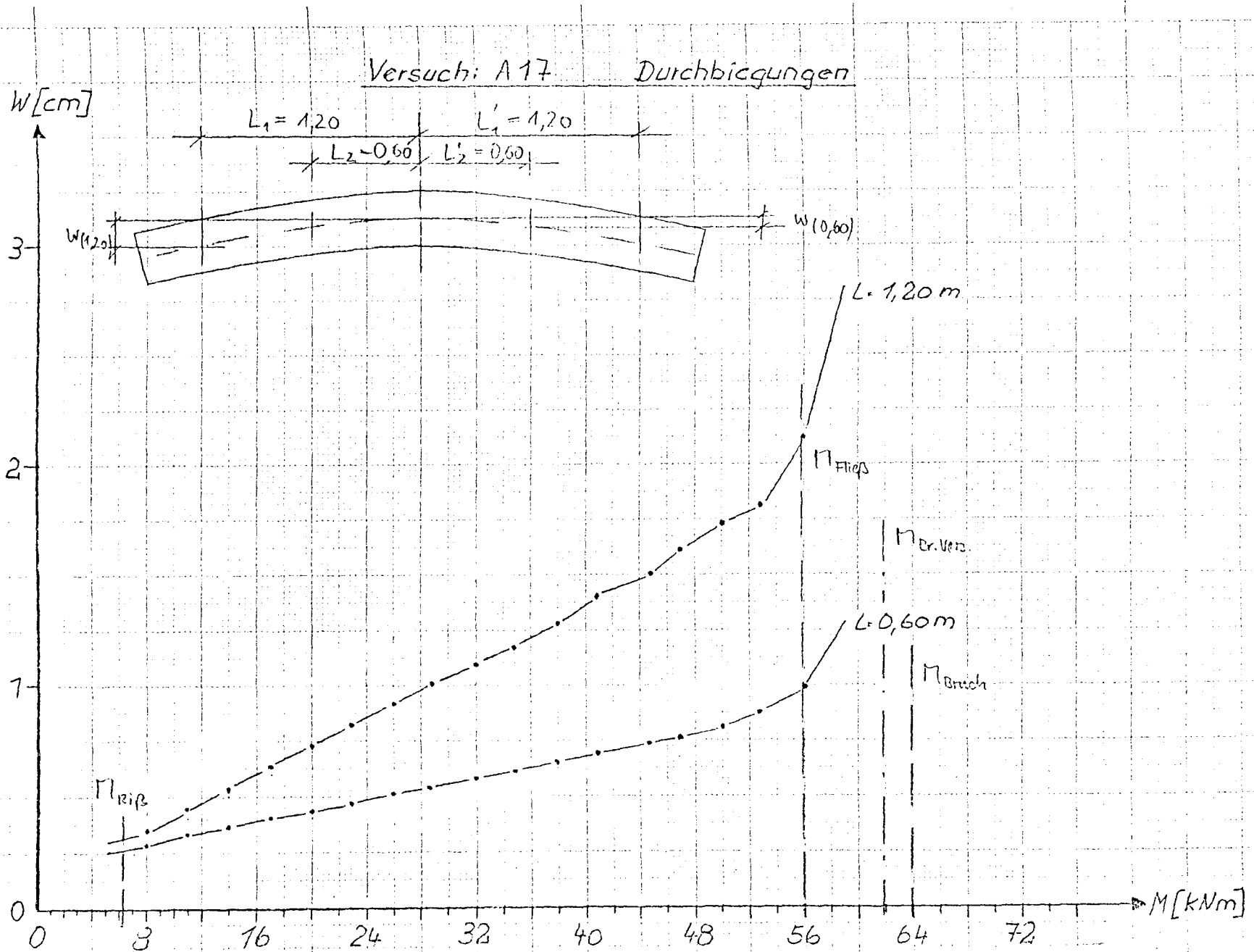
Durchbiegungen





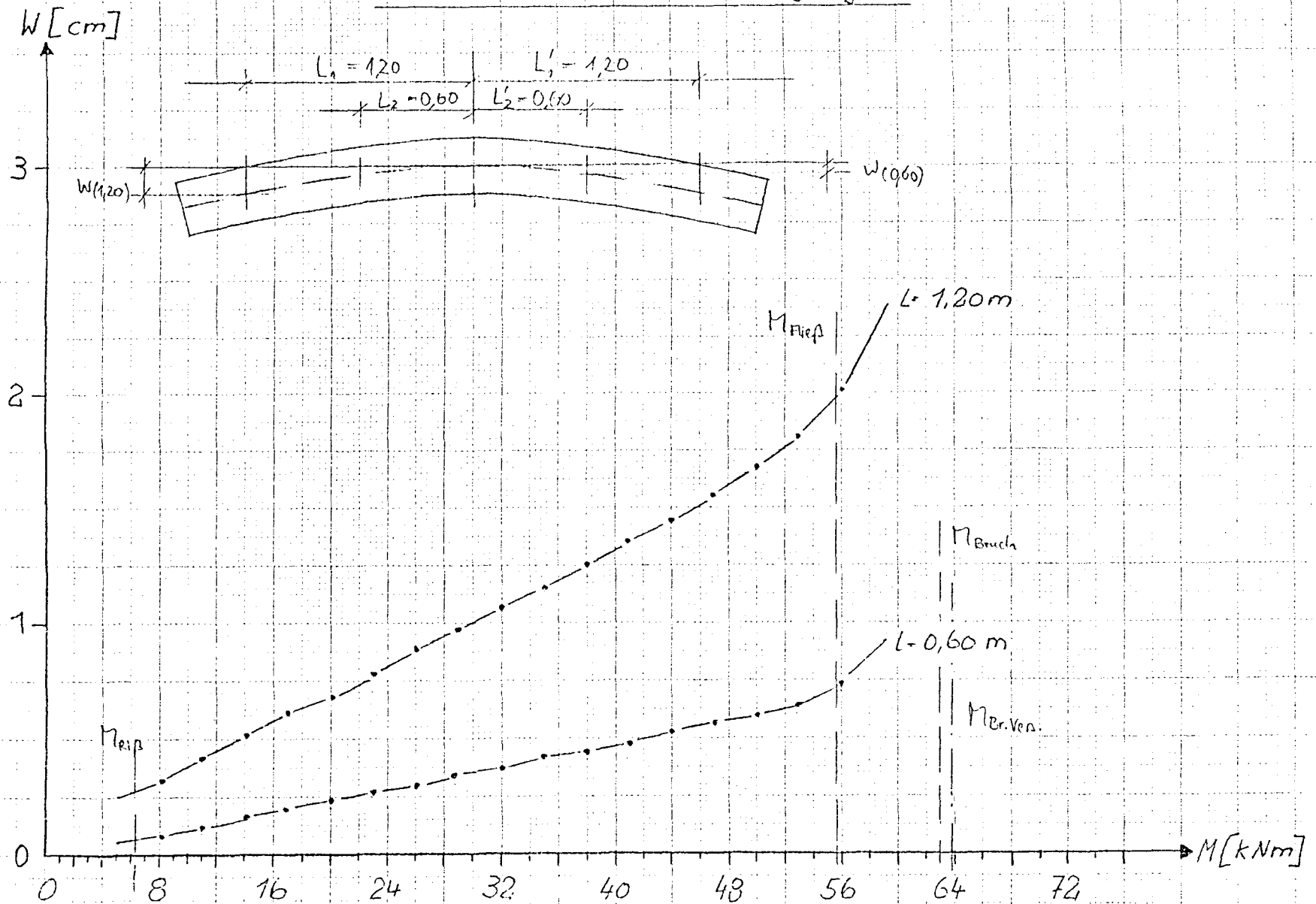
Versuch: A16 Durchbiegungen



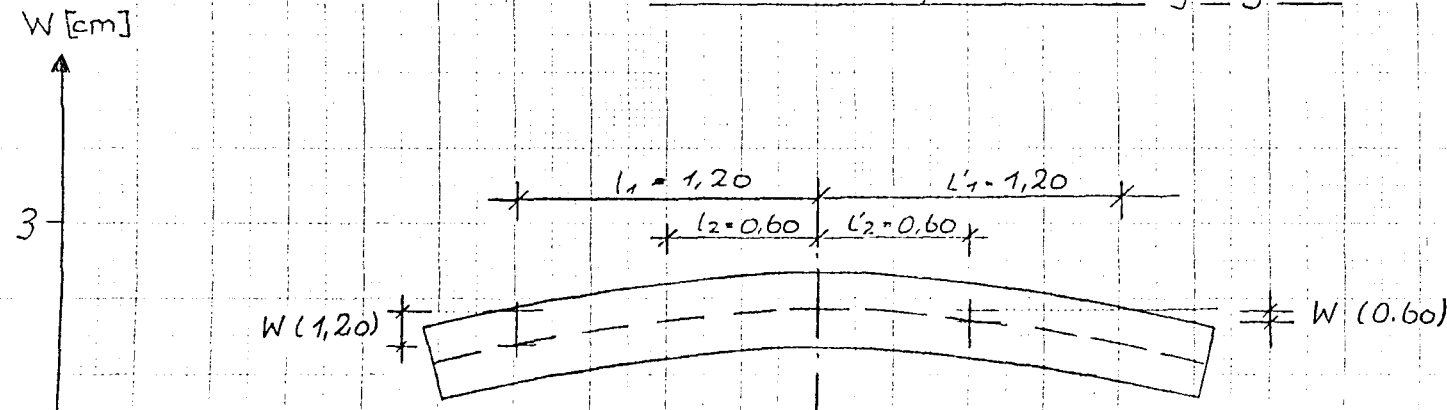


Versuch: A 18

Durchbiegungen



Versuch: E19_{φ6} Durchbiegungen



$$\phi_L = 6.0 \text{ mm}$$

$$\phi_Q = 6.0 \text{ "}$$

$$e = 25.0 \text{ cm}$$

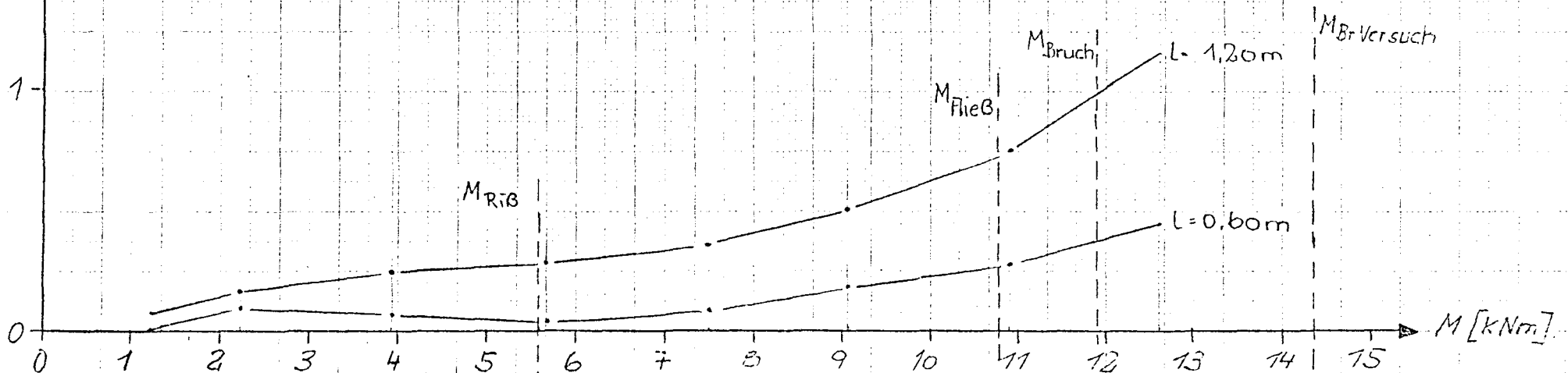
$$\mu_0 = 0.229 \%$$

$$M_{RiB} = 5.57 \text{ kNm}$$

$$M_{FlieB} = 10.79 \text{ "}$$

$$M_{Bruch} = 11.90 \text{ "}$$

$$M_{Br-Vers.} = 14.33 \text{ "}$$



$W [cm]$

Versuch E20 ϕ 8,5 Durchbiegungen

$\phi_L = 8,5 \text{ mm}$

$\phi_a = 6,0 \text{ mm}$

$e = 25,0 \text{ cm}$

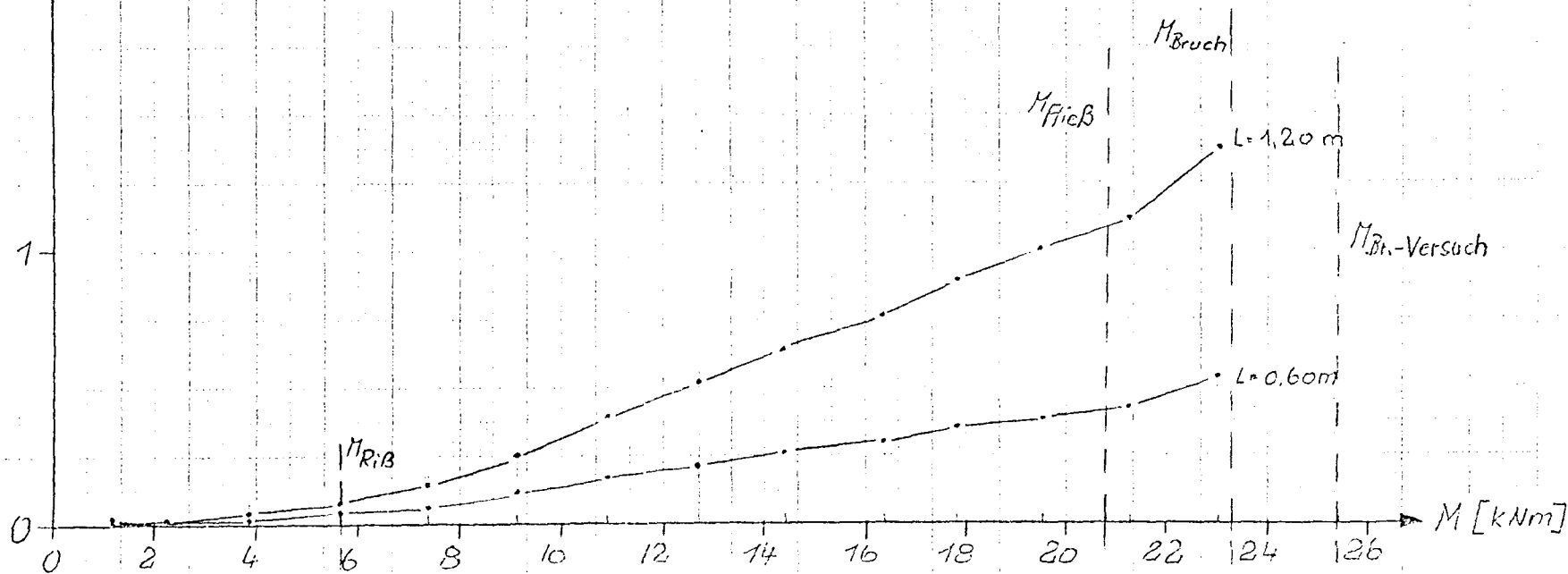
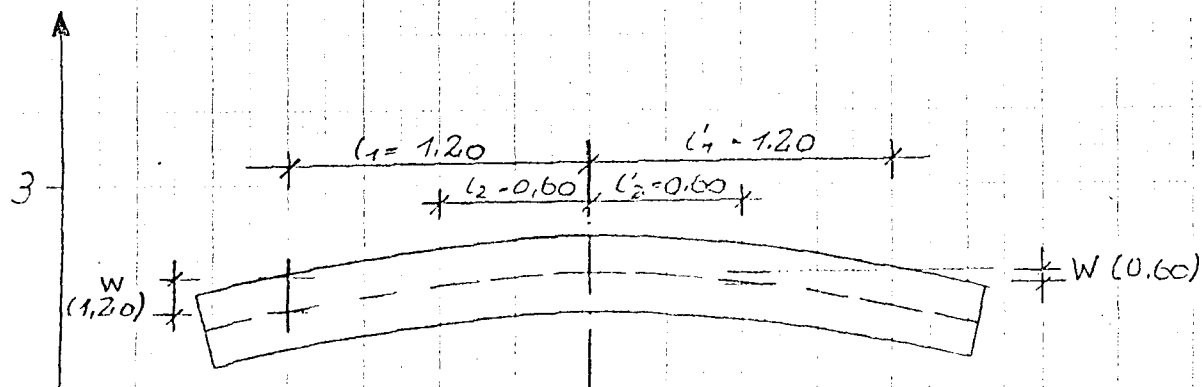
$\mu_0 = 0,442 \%$

$M_{RiB} = 5,74 \text{ kNm}$

$M_{FlieB} = 20,79 \text{ "}$

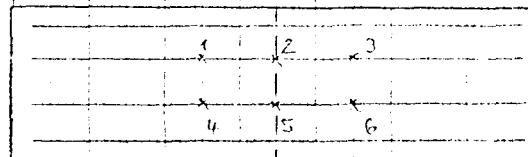
$M_{Bruch} = 23,39 \text{ "}$

$M_{Br.-Vers} = 25,44 \text{ "}$



$\varepsilon [\%]$

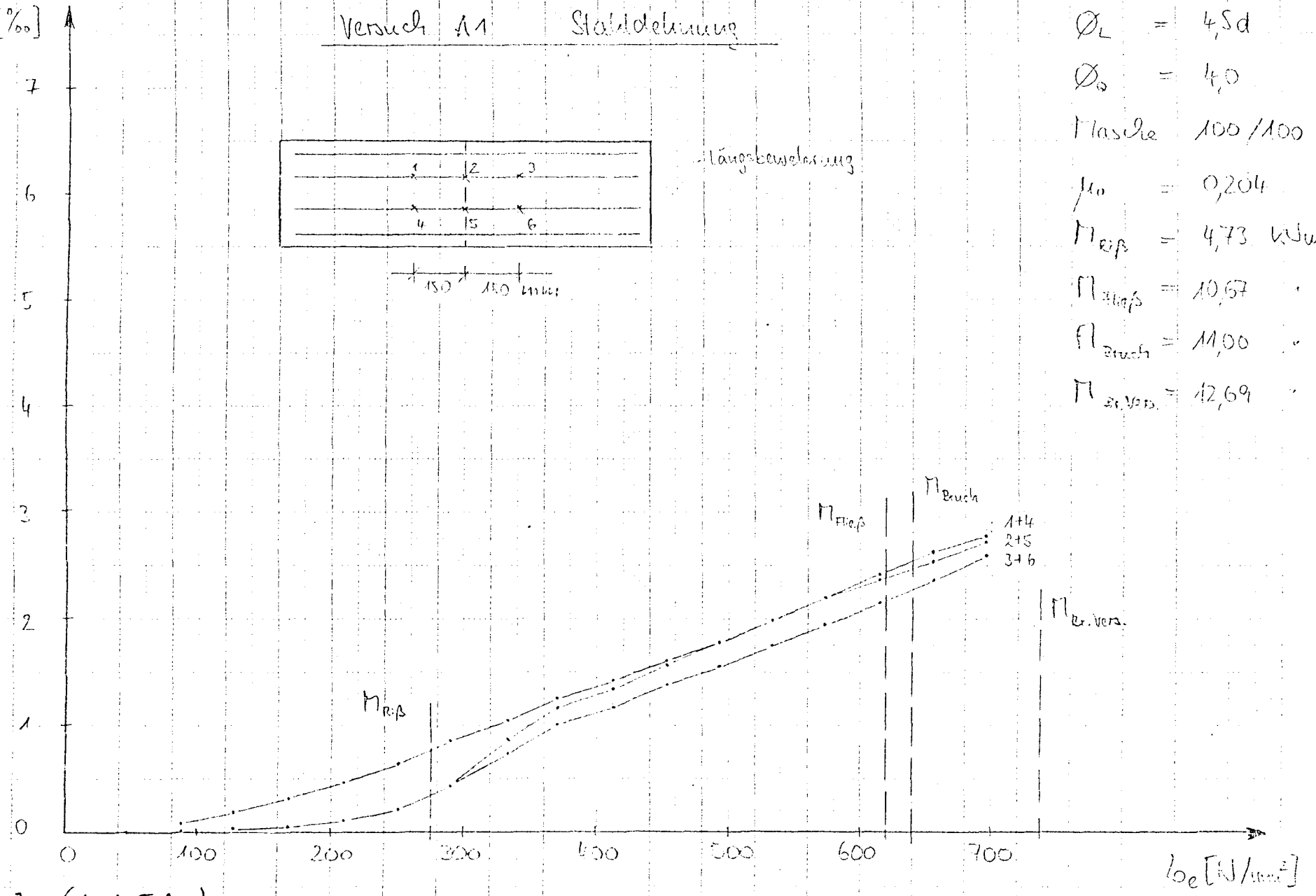
Versuch A1 Stahldelamination



Längsbewehrung

150 150 mm

- $\varnothing_L = 4,5d$
- $\varnothing_o = 4,0$
- $f_{t,ste} = 100/100$
- $f_{t0} = 0,204$
- $M_{R,p} = 4,73 \text{ kNm}$
- $M_{R,pf} = 10,67$
- $M_{R,bruch} = 11,00$
- $M_{R,vers.} = 12,69$



$\epsilon_c [\text{‰}]$

Versuch A2

Stahlbeton

	1	2	3
	4	5	6

Längsrichtung

150 150

$\phi_c = 450$

$\phi_o = 45$

Masche 100/250

$f_{ct} = 0,204$

$M_{Rip} = 5,00 \text{ kNm}$

$M_{Fließ} = 10,75$

$M_{Bruch} = 11,13$

$M_{Br.Ven.} = 12,48$

7

6

5

4

3

2

1

0

0 100 200 300 400 500 600 700 $\sigma_c [\text{N/mm}^2]$

M_{Rip}

$M_{Fließ}$

M_{Bruch}

$M_{Br.Ven.}$

3
(8,198)

6
2
1+4

$\xi [\%]$

Versuch A3

Stahldrehung

	1	2	3
	4	5	6

Längsbewehrung

 \times \times \times
150 150

7

6

5

4

3

2

1

0

0

100

200

300

400

500

600

700

 $\sigma_e [N/mm^2]$ $\phi_L = 8,0 d$ $\phi_R = 7,0$

Flasche 100/100

 $\mu_0 = 0,628$ $M_{Flap} = 5,33 \text{ kNm}$ $M_{Flap} = 33,89 \text{ "}$ $M_{Bruch} = 35,82 \text{ "}$ $M_{Br.ven.} = 38,47 \text{ "}$

3 (11,552)

6 (8,920)

2+5 (8,086)

1

 M_{Flap} M_{Bruch} $M_{Br.ven.}$

4

 M_{Flap}

$\epsilon [\%]$

Versuch A 4

Stahldrehung

1	12	3
4	15	6

Längsbewehrung

150 150

7

6

5

4

3

2

1

0

0

100

200

300

400

500

600

700

 $\sigma_e [N/mm^2]$

2 (17,943)

5
(13,247) $\sigma_{Fließ}$ σ_{Bruch} $\sigma_{Br.Vers.}$ $\phi_L = 8,0 d$ $\phi_a = 8,0$

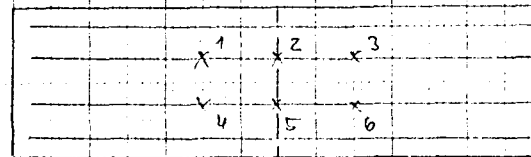
Masche 100/250

 $\mu_0 = 0,625$ $\sigma_{Rip} = 5,12 \text{ kN/mm}^2$ $\sigma_{Fließ} = 33,93$ $\sigma_{Bruch} = 35,27$ $\sigma_{Br.Vers.} = 37,80$

$\epsilon [‰]$

Versuch 15

Stahldelung



Längsbewehrung

150 150

$$\phi_L = 12,0 \text{ d}$$

$$\phi_a = 10,0$$

$$\text{Masche } 100/100$$

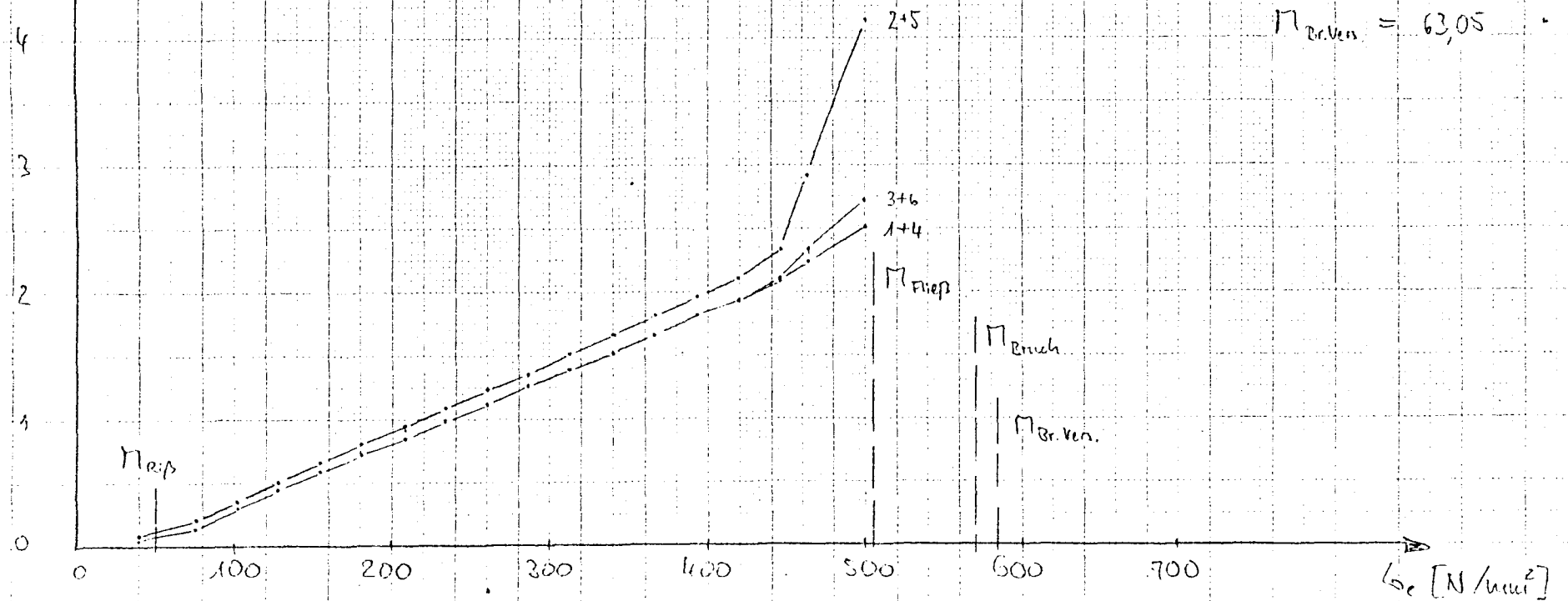
$$\mu_s = 1,401$$

$$M_{R\beta} = 5,59 \text{ kNm}$$

$$M_{Fließ} = 54,46 \text{ "}$$

$$M_{Bruch} = 61,68 \text{ "}$$

$$M_{Br.Ven.} = 63,05 \text{ "}$$



$\xi [\%]$

Versuch B7

Stahdehnung

1	2	3
4	5	6

Längsbeziehung

150 150

$$\sigma_L = 4,5 d$$

$$\sigma_a = 4,0$$

Masche 100/100

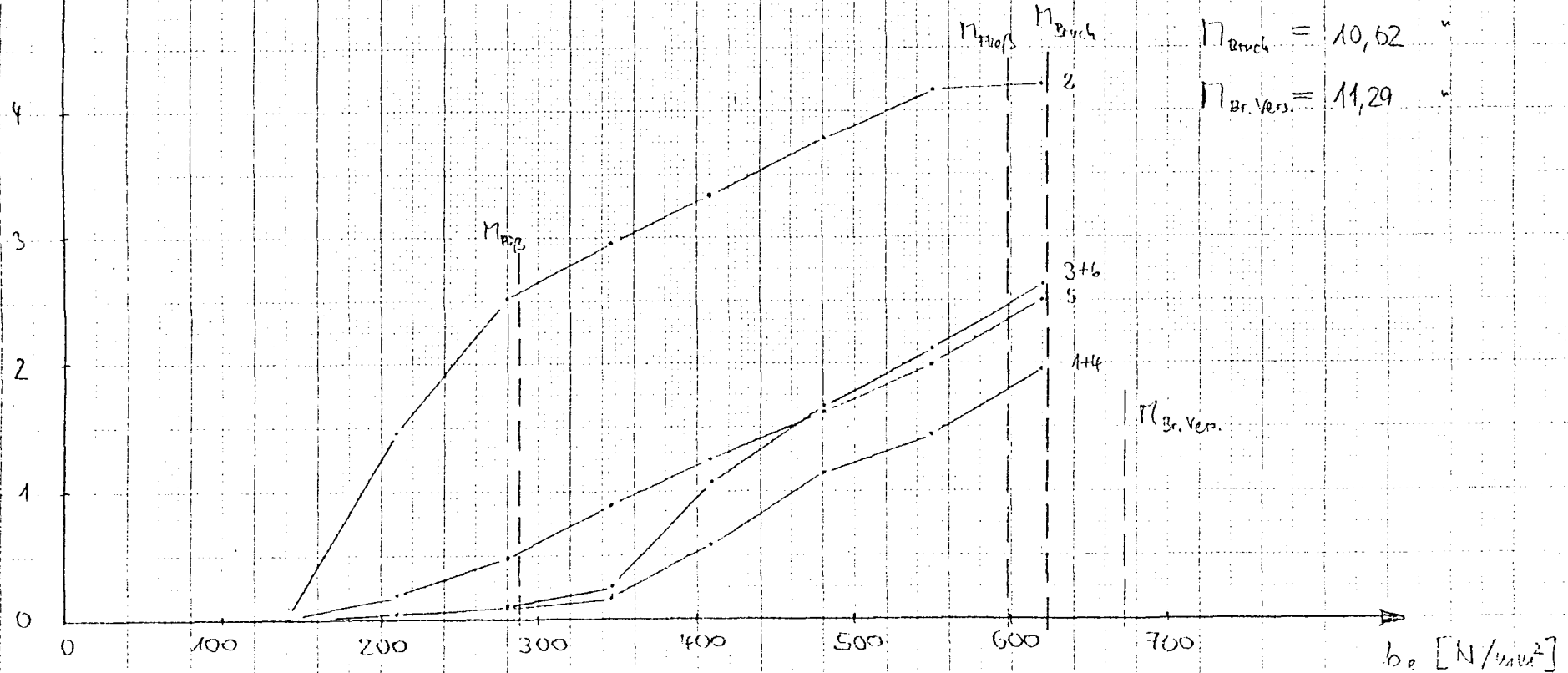
$$\mu_0 = 0,194$$

$$M_{Ri\beta} = 4,21 \text{ kNm}$$

$$M_{Fließ} = 9,98$$

$$M_{Bruch} = 10,62$$

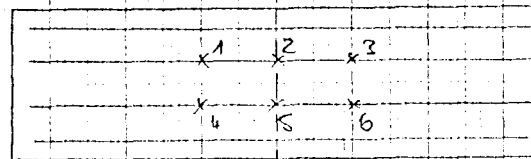
$$M_{Br.Vers.} = 11,29$$



$\epsilon [\%]$

Versuch B.8

Stahldrehung



Längsbewehrung

150 150

$$\phi_L = 4,5 \text{ d}$$

$$\phi_a = 4,5$$

$$\text{Masche } 100/250$$

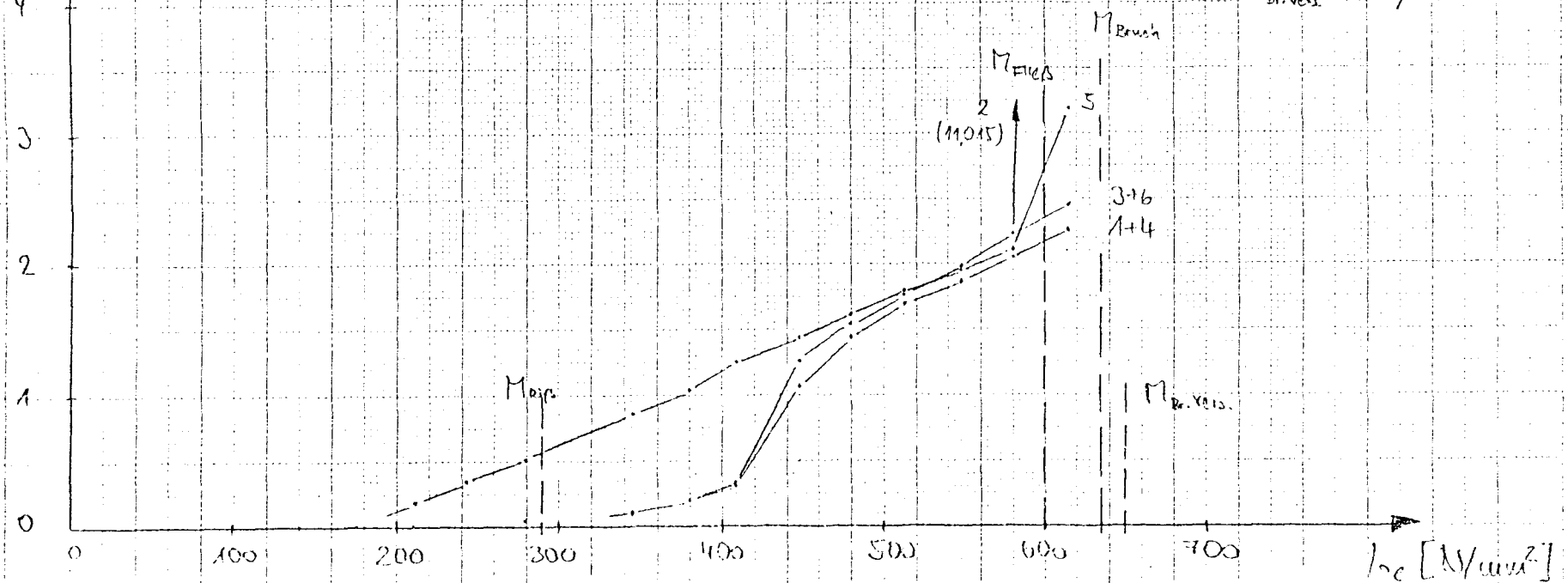
$$\mu_s = 0,194$$

$$M_{\text{elap}} = 4,89 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{fließ}} = 10,10$$

$$M_{\text{Bruch}} = 10,74$$

$$M_{\text{Dr. Vers.}} = 10,95$$



$\varepsilon [\%]$

Versuch B10 Stahldehnung

$$\varnothing_L = 8,0 \text{ d}$$

$$\varnothing_a = 8,0$$

Masche 100/250

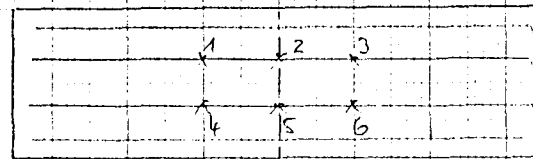
$$\mu_s = 0,584$$

$$M_{\text{rip}} = 5,33 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Fließ}} = 28,49 \text{ "}$$

$$M_{\text{Bruch}} = 30,61 \text{ "}$$

$$M_{\text{Br. Vers}} = 31,46 \text{ "}$$



150 150

Längsbewehrung

 $M_{\text{Fließ}}$

2+5

3+6

1+4

 M_{Bruch} $M_{\text{Br. Vers.}}$

0

 M_{rip}

100

200

300

400

500

600

700

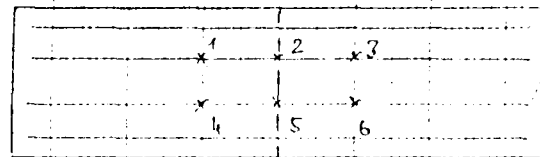
 $\sigma_e [N/mm^2]$

$\varepsilon [\%]$

Versuch B 11

Stahldrehung

Längsdehnung



100 100

7
6
5
4
3
2
1
0

0 100 200 300 400 500 600 700

$\sigma_e [N/mm^2]$

$\sigma_{Fließ}$
2+5

σ_{Bruch}
 σ_{Bruch}

3+6
1+4

$\sigma_1 = 12,0 d$

$\sigma_2 = 10,0$

Masche 100/100

$\mu_0 = 1,465$

$\sigma_{Fließ} = 5,77 \text{ kNm}$

$\sigma_{Fließ} = 89,62$

$\sigma_{Bruch} = 65,94$

$\sigma_{Bruch} = 64,50$

$\epsilon [\%]$

Versuch B12

Stahldelungen

x1	x2	x3
x4	x5	x6

150 150

Längsbewehrung

 M_{Flup} 2+5

4

1

3+6

 M_{Bruch} $M_{Br.Vor.}$

0

1

2

3

4

5

6

7

0

100

200

300

400

500

600

700

 $b_e [N/mm^2]$

$$\phi_L = 12,0 d$$

$$\phi_a = 12,0$$

$$M_{asche} = 100 / 250$$

$$\mu_0 = 1,458$$

$$M_{Flup} = 5,86 \text{ kNm}$$

$$M_{Flup} = 57,89$$

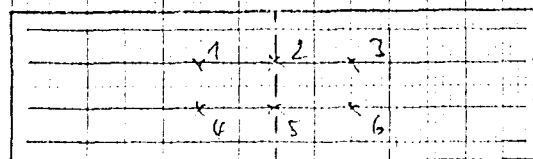
$$M_{Bruch} = 63,99$$

$$M_{Br.Vor.} = 64,50$$

$\varepsilon [\%]$

Versuch A13

Stahildehnung



Längsbewehrung

$$\phi_L = 4,5 d$$

$$\phi_a = 4,0$$

Masche 100/100

$$\mu_s = 0,204$$

$$M_{Rip} = 4,89 \text{ kNm}$$

$$M_{Fließ} = 10,91 \text{ "}$$

$$M_{Bruch} = 11,25 \text{ "}$$

$$M_{Br.Ven.} = 12,35 \text{ "}$$

7

6

5

4

3

2

1

0

0

100

200

300

400

500

600

700

$\sigma_e [N/mm^2]$

M_{Rip}

$M_{Fließ}$

M_{Bruch}

2+5

3+6

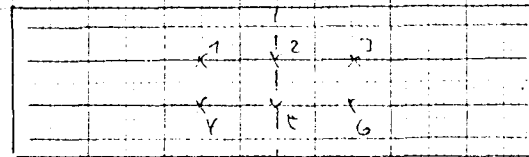
1+4

$M_{Br.Ven.}$

$\varepsilon [\%]$

Versuch A14

Stahdehnung



Längsdehnung

$\sigma_s = 4,5d$

$\sigma_a = 4,5$

Masche 100/250

$\mu_0 = 0,204$

$M_{Rip} = 4,80 \text{ kNm}$

$M_{Fließ} = 10,92 \text{ "}$

$M_{Bruch} = 11,32 \text{ "}$

$M_{Br.Ven.} = 11,06 \text{ "}$

7
6
5
4
3
2
1
0

0

100

200

300

400

500

600

$\sigma_e [N/mm^2]$

M_{Rip}

2+5

1+4

3+6

$M_{Fließ}$

$M_{Br.Ven.}$

M_{Bruch}

$\epsilon [‰]$

7

6

5

4

3

2

1

0

0

100

200

300

400

500

600

700

 $\sigma_c [N/mm^2]$

Versuch A 15

Stahldeknung

x ¹	x ²	x ³
x ⁴	x ⁵	x ⁶

150 150

Längsbewehrung

2+5
(13,245)1+4
3+6 M_{Rief} $M_{Br.Ven.}$ M_{Bruch} $\phi_L = 8,0$ $\phi_a = 7,0$

Masche 100/100

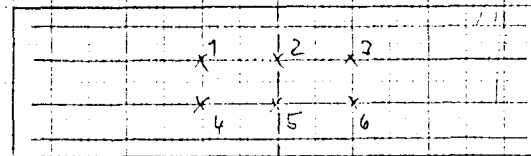
 $\mu_0 = 0,628$ $M_{Rief} = 5,24 \text{ kNm}$ $M_{Rief} = 33,30$ $M_{Bruch} = 35,24$ $M_{Br.Ven.} = 33,49$

$\varepsilon [\%]$

Versuch A 16

Stahldrehung

Längskurve



150 150

5
(13,247)

2 (13,246)

3+6

1+4

 $M_{Br.vers.}$ $M_{tieß}$ M_{Bruch} $\varnothing_L = 8,0 d$ $\varnothing_2 = 8,0$

Masche 100/250

 $\mu_0 = 0,625$ $M_{rip.} = 5,16 \text{ kNm}$ $M_{tieß} = 33,77 \text{ "}$ $M_{Bruch} = 35,15 \text{ "}$ $M_{Br.vers.} = 33,05 \text{ "}$ $\sigma_0 [N/mm^2]$

$\varepsilon [\%]$

Versuch A 17

Stahldelung

Längsbeurteilung

	1	2	3
	x	x	x
	4	5	6
	x	x	x

150 150

2 (11,354)

5 (12,790)

3+6

1+4

$\varnothing_L = 12,0d$

$\varnothing_a = 10,0$

Maße 100/100

$\mu_0 = 1,401$

$M_{rip} = 6,23 \text{ kNm}$

$M_{Hof} = 55,84$

$M_{Druck} = 63,89$

$M_{Br.Vers.} = 61,78$

7

6

5

4

3

2

1

0

0

100

200

300

400

500

600

700

$\sigma_e [N/mm^2]$

M_{rip}

M_{Hof}

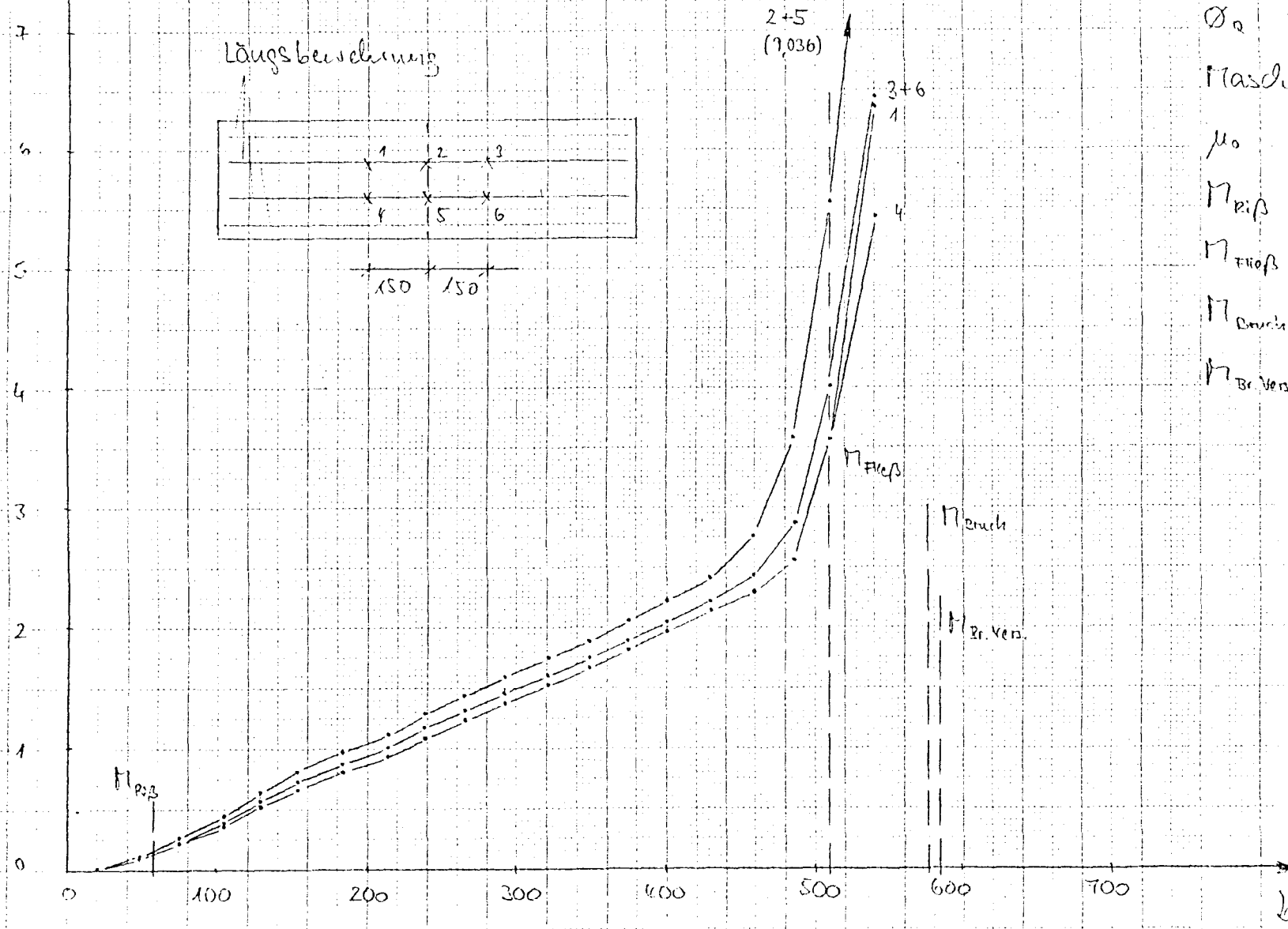
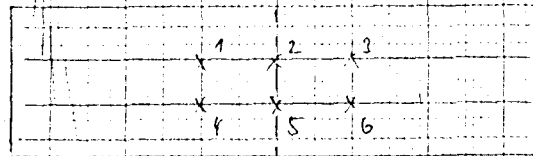
$M_{Br.Vers.}$

M_{Druck}

$\epsilon [\%]$

Versuch A 18 Stahldehnung

Längsbeurteilung



$$\sigma_L = 12,0 \text{ d}$$

$$\sigma_R = 12,0$$

$$\text{Flasche } 100/250$$

$$\mu_0 = 1,110$$

$$\sigma_{Ripf} = 6,34 \text{ kN/mm}$$

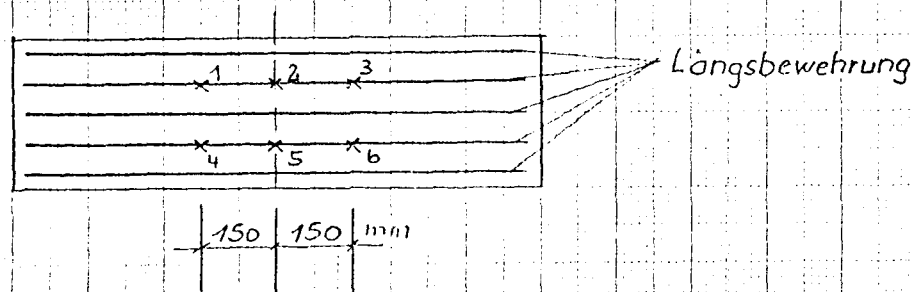
$$\sigma_{Fluss} = 55,60 \text{ "}$$

$$\sigma_{Bruch} = 62,98 \text{ "}$$

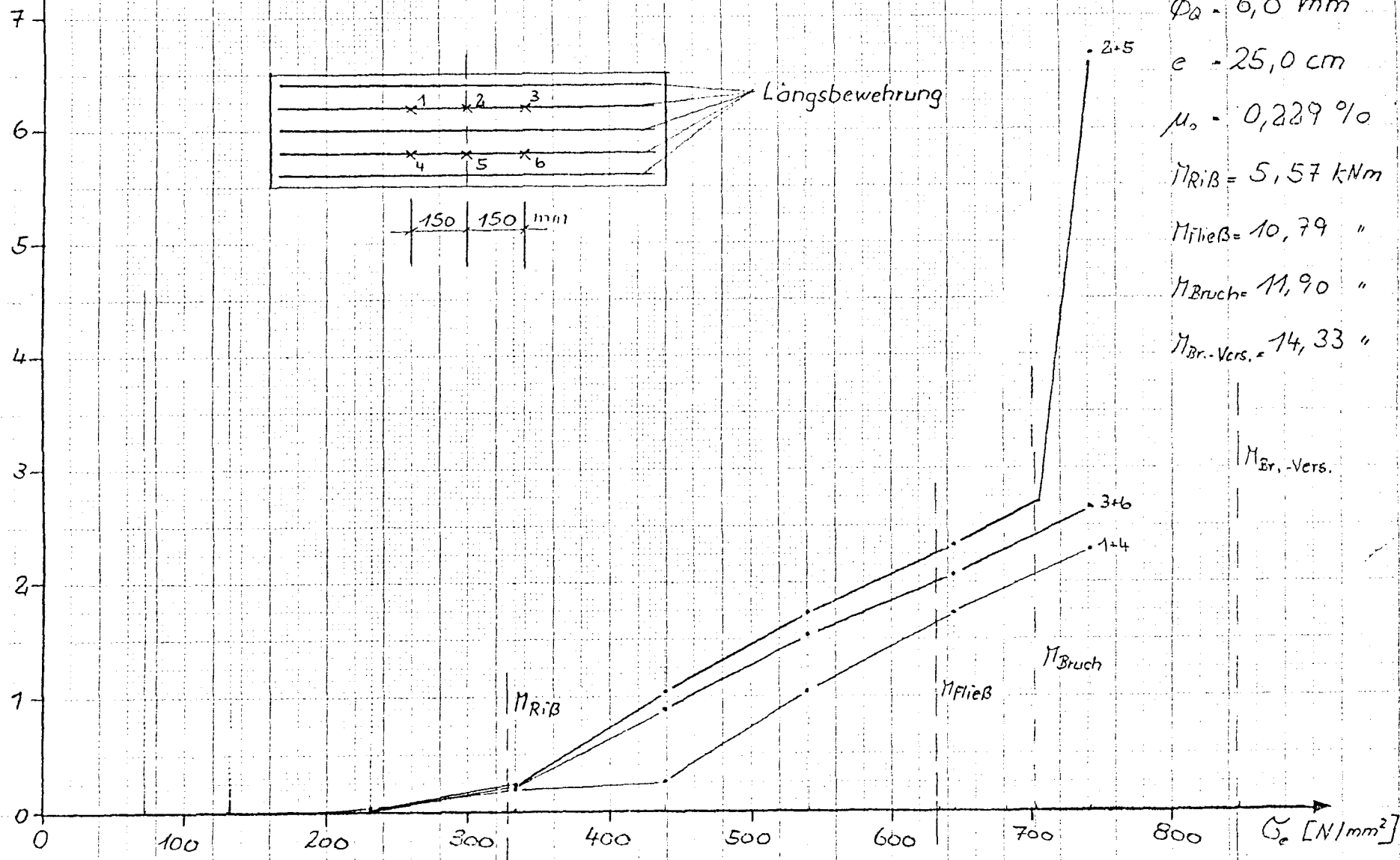
$$\sigma_{Br. Vers.} = 63,77 \text{ "}$$

ϵ [‰]

Versuch E19.6 Stahldehnung

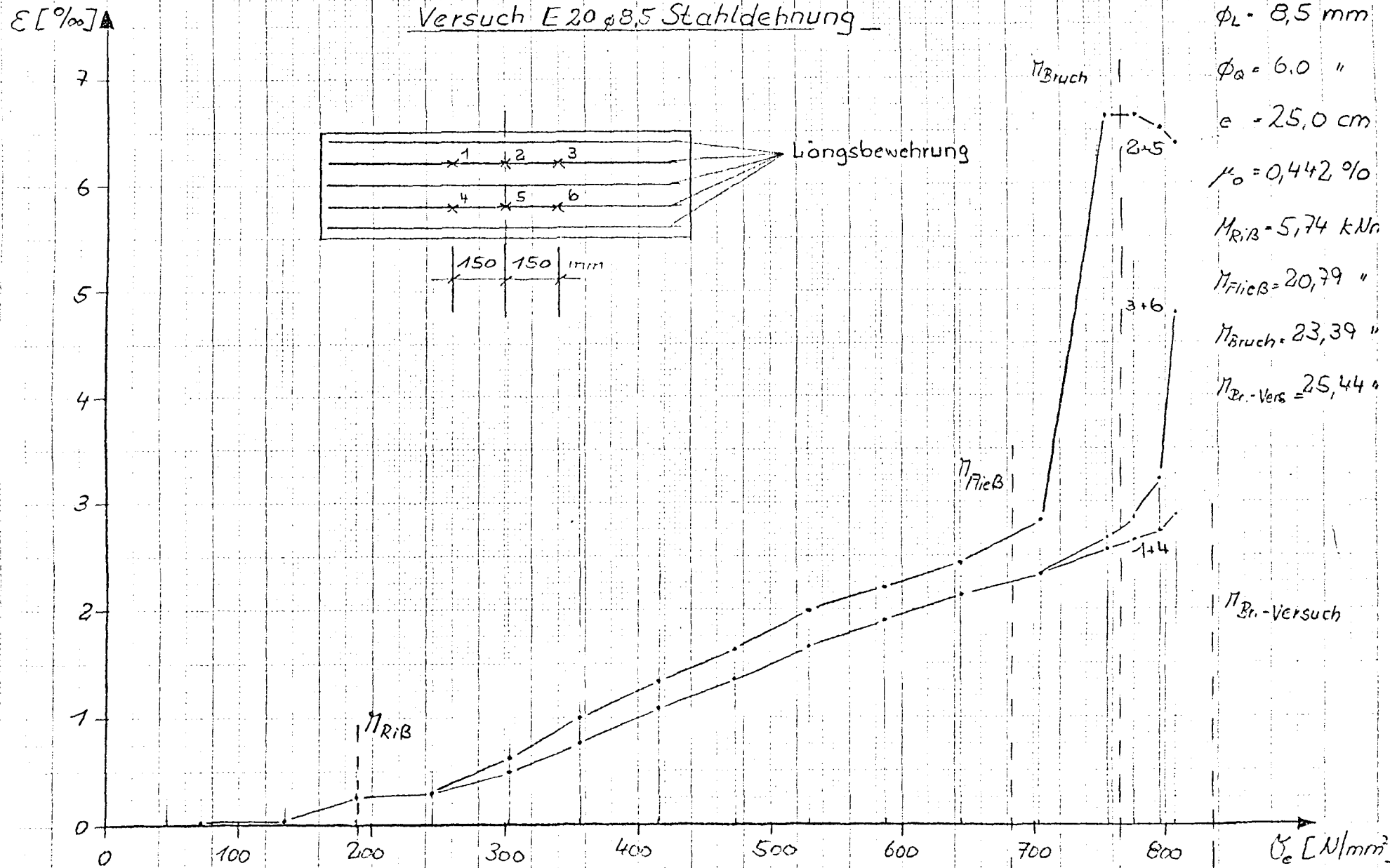


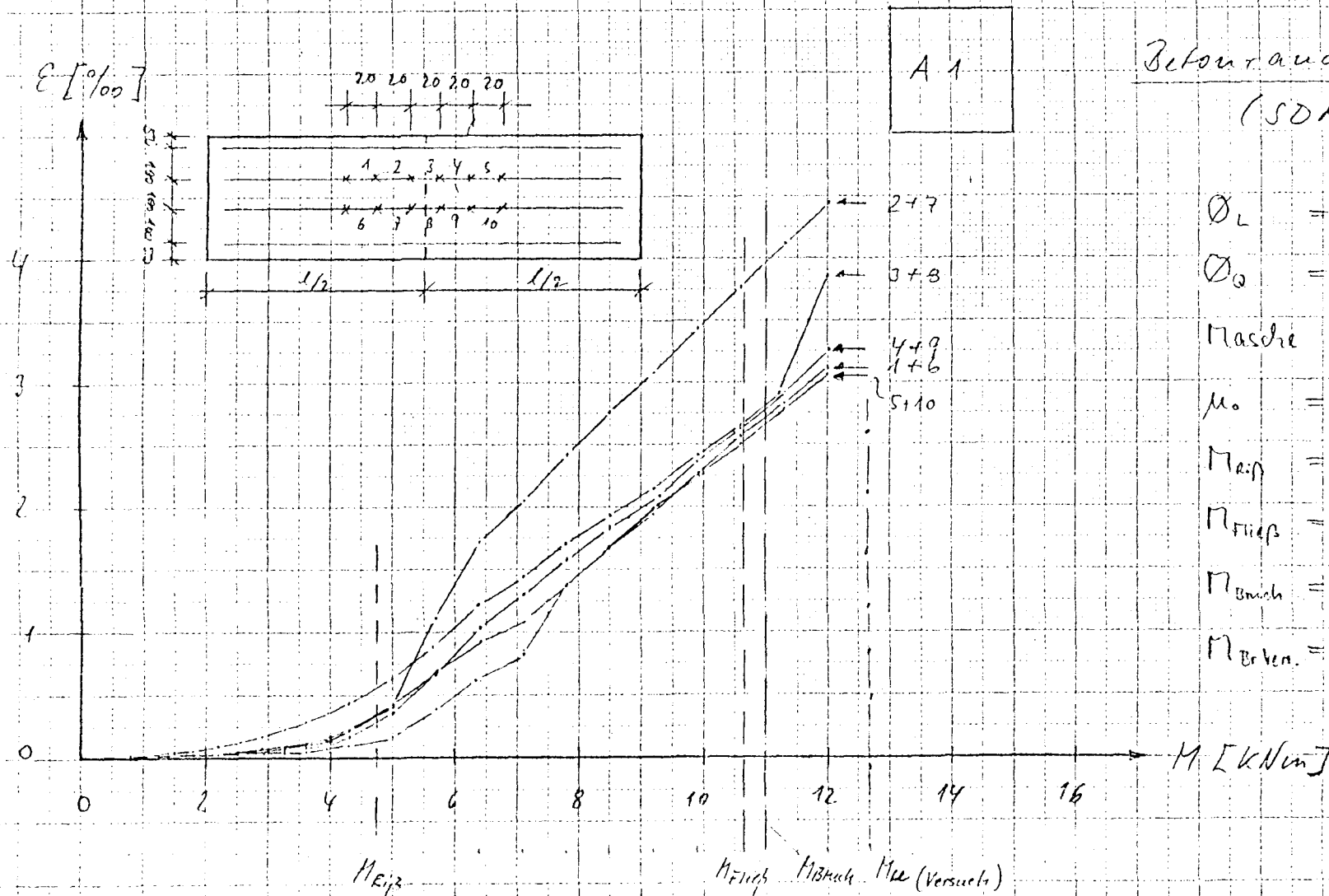
$\phi_L = 6,0 \text{ mm}$
 $\phi_a = 6,0 \text{ mm}$
 $e = 25,0 \text{ cm}$
 $\mu_s = 0,229 \%$
 $M_{RiB} = 5,57 \text{ kNm}$
 $M_{fließ} = 10,79 \text{ ''}$
 $M_{Bruch} = 11,90 \text{ ''}$
 $M_{Br.-Vers.} = 14,33 \text{ ''}$



$M_{Br.-Vers.}$

Versuch E20, 8.5 Stahldehnung





Beton- und Stahlgewerte
(SDH - Werte)

$\sigma_L = 4,5 d$

$\sigma_D = 4,0$

Masche 100/100

$\mu_o = 0,204$

$M_{Flup} = 4,73 \text{ kNm}$

$M_{Brech} = 10,67 \text{ }$

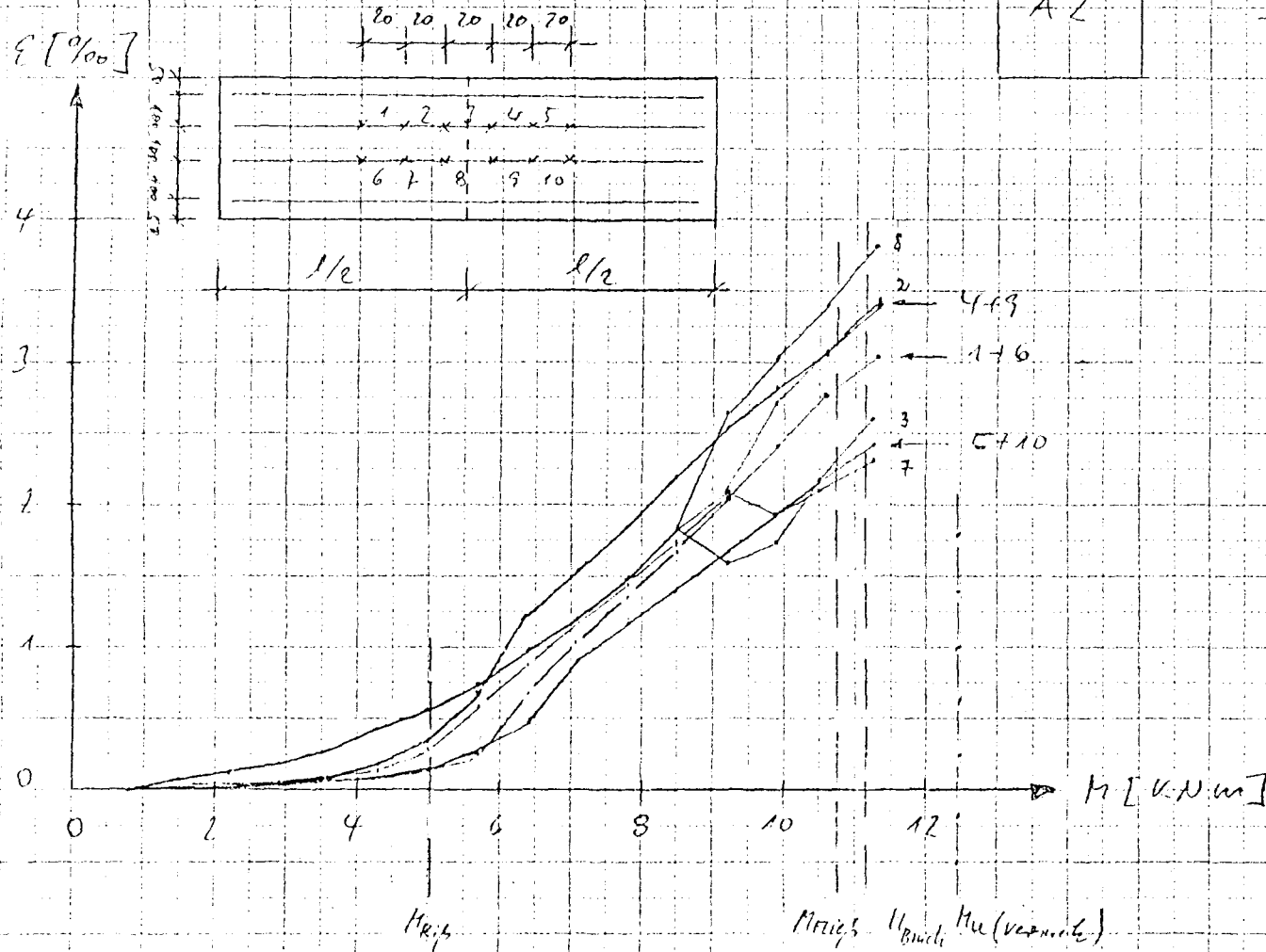
$M_{Brech} = 11,00 \text{ }$

$M_{Brech} = 12,69 \text{ }$

Anlage 4 (A1-E20)

A2

Betondeckungen (SD17-Werte)



$$\phi_L = 4,5d$$

$$\phi_a = 4,5$$

$$Masche = 100/250$$

$$\mu_o = 0,204$$

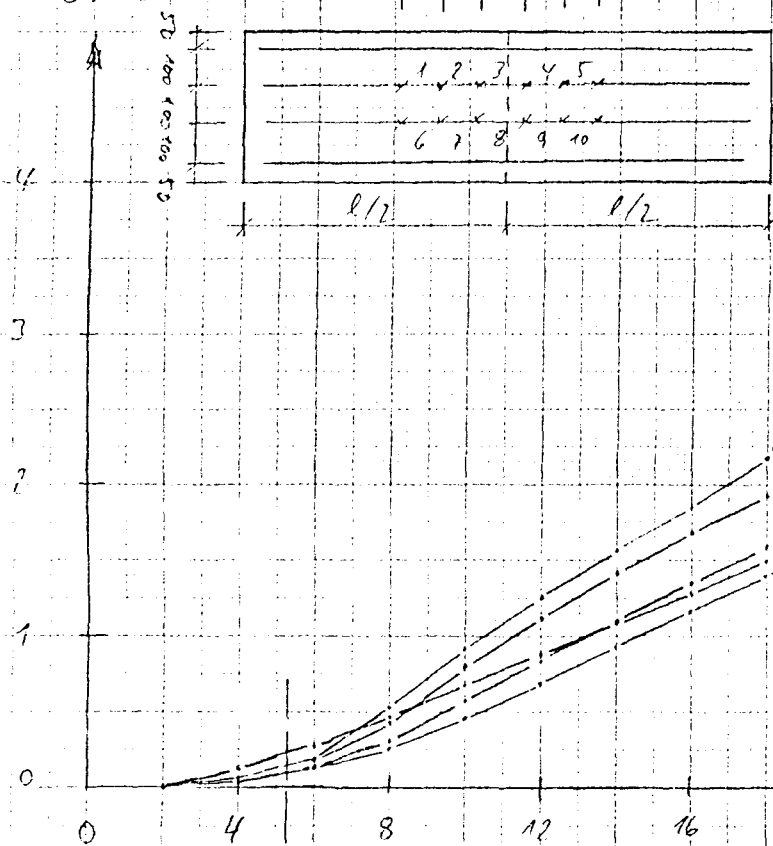
$$M_{Rf} = 5,00 \text{ kNm}$$

$$M_{Flief} = 10,75 \text{ "}$$

$$M_{Bruch} = 11,13 \text{ "}$$

$$M_{Bruch (versucht)} = 12,48 \text{ "}$$

$\xi [\%]$



Bemerkungen (SDP7-Werte)

$$\phi_L = 2,0d$$

$$\phi_a = 7,0$$

Masche 100/100

$$\mu_0 = 0,628$$

$$M_{R,p} = 5,33 \text{ kNm}$$

$$M_{R,p} = 33,89 \text{ "}$$

$$M_{bruch} = 35,82 \text{ "}$$

$$M_{br,ven} = 38,47 \text{ "}$$

$M [\text{kNm}]$

$M_{R,p}$

$M_{R,p}$

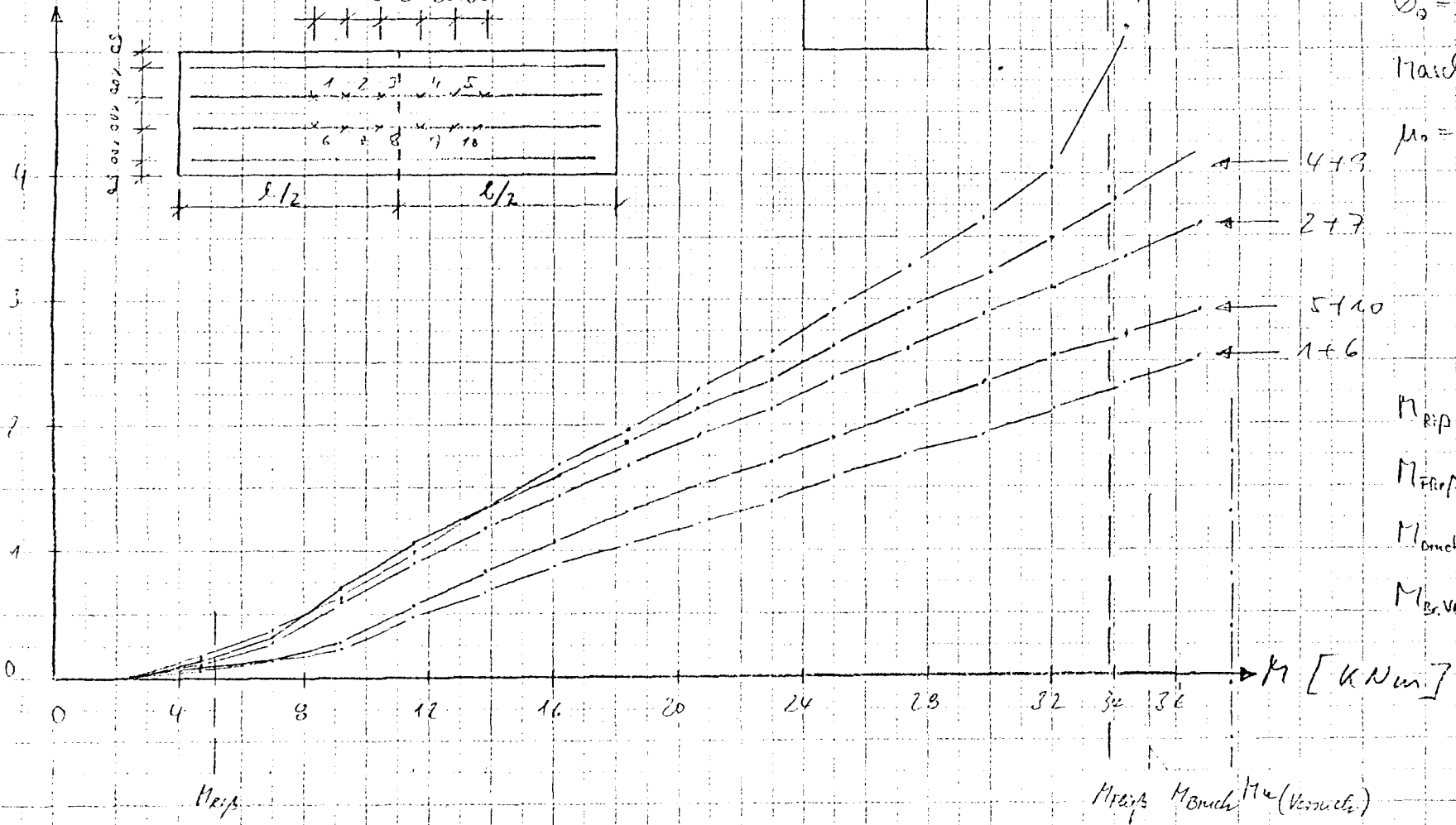
M_{bruch}

$M_{u} (Normal)$

Betondeckungen (SD1-Weile)

A 4

$\epsilon [‰]$



$$\phi_s = 10 \text{ mm}$$

$$\phi_s = 10$$

Maße 100/250

$$\mu_0 = 0,625$$

$$M_{Rip} = 5,12 \text{ kNm}$$

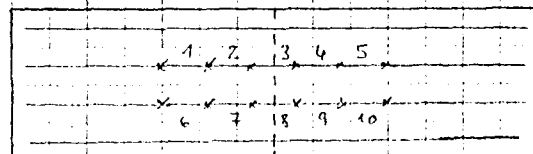
$$M_{Flirp} = 33,93$$

$$M_{Bruch} = 35,27$$

$$M_{Bruch} = 37,80$$

$\xi [\%]$

25
20
15
10
5
0

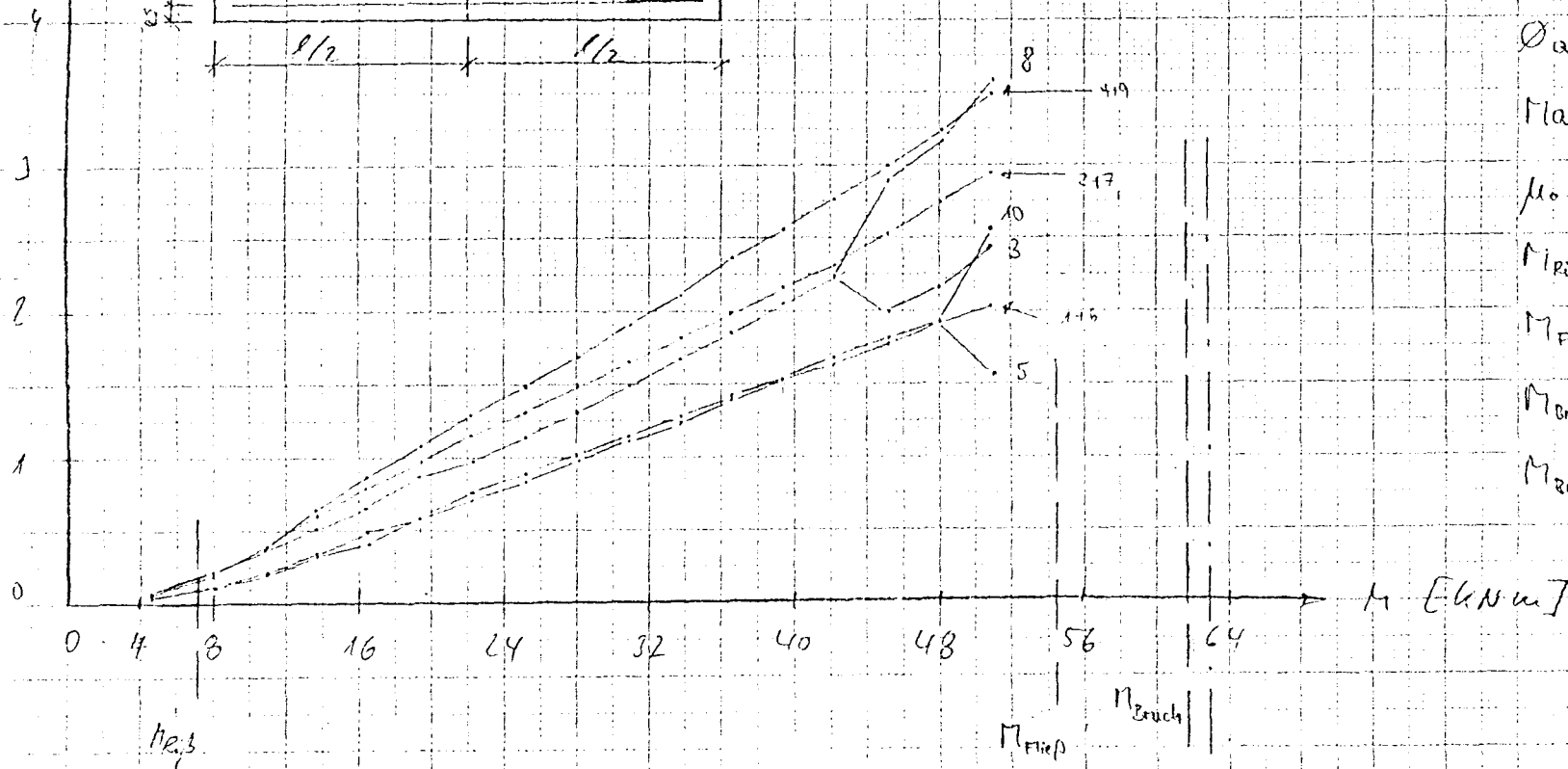


$l/2$ $l/2$

A5

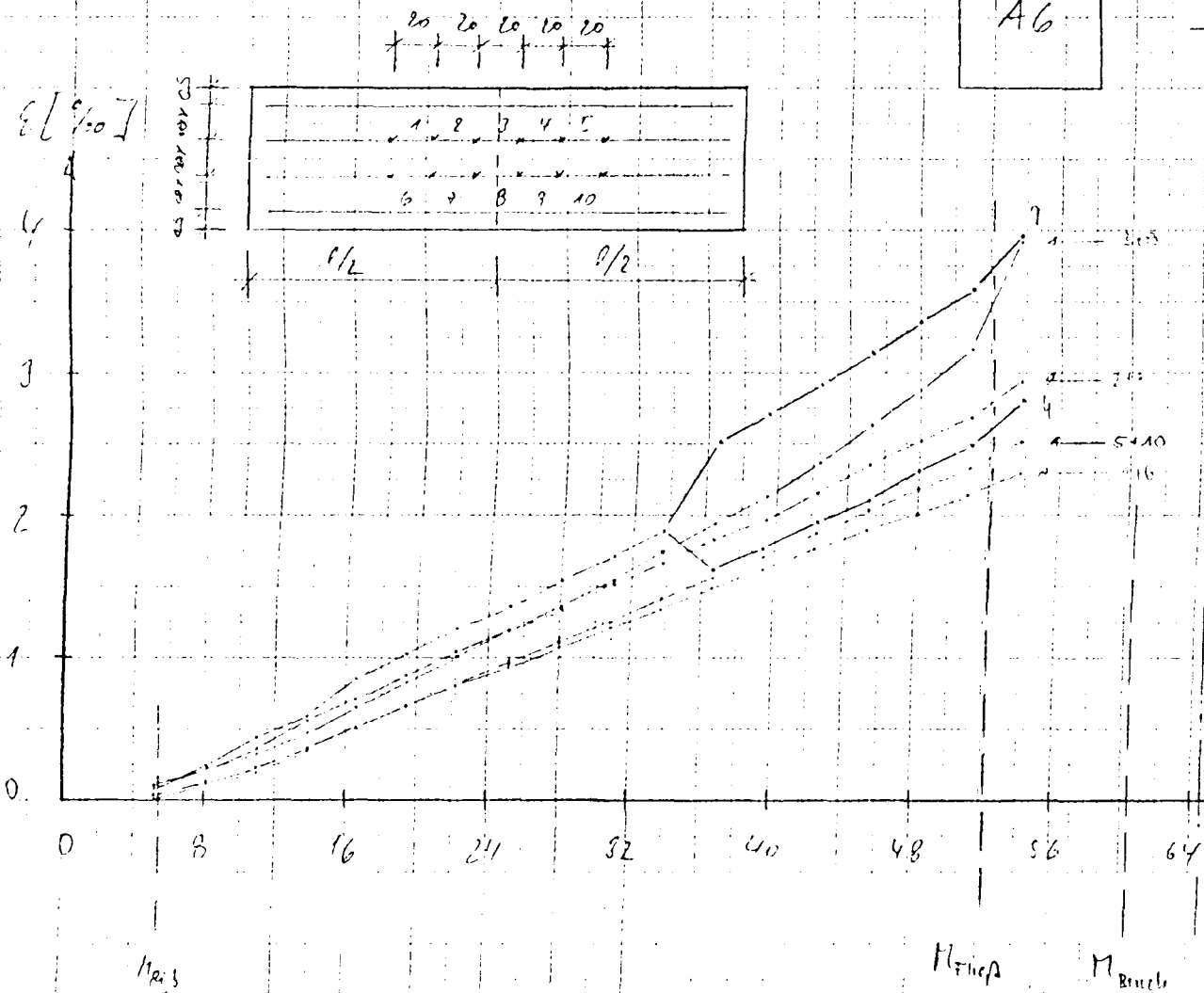
Belourad ^{de la zone} ~~de la zone~~
(SDM - West)

- $\phi_c = 12,0 d$
- $\phi_a = 10,0$
- Masde 100/100
- $\mu_0 = 1,401$
- $M_{Rip} = 5,59 \text{ kNm}$
- $M_{Flex} = 54,46 "$
- $M_{Bruch} = 61,68 "$
- $M_{Br.Ven.} = 63,05 "$



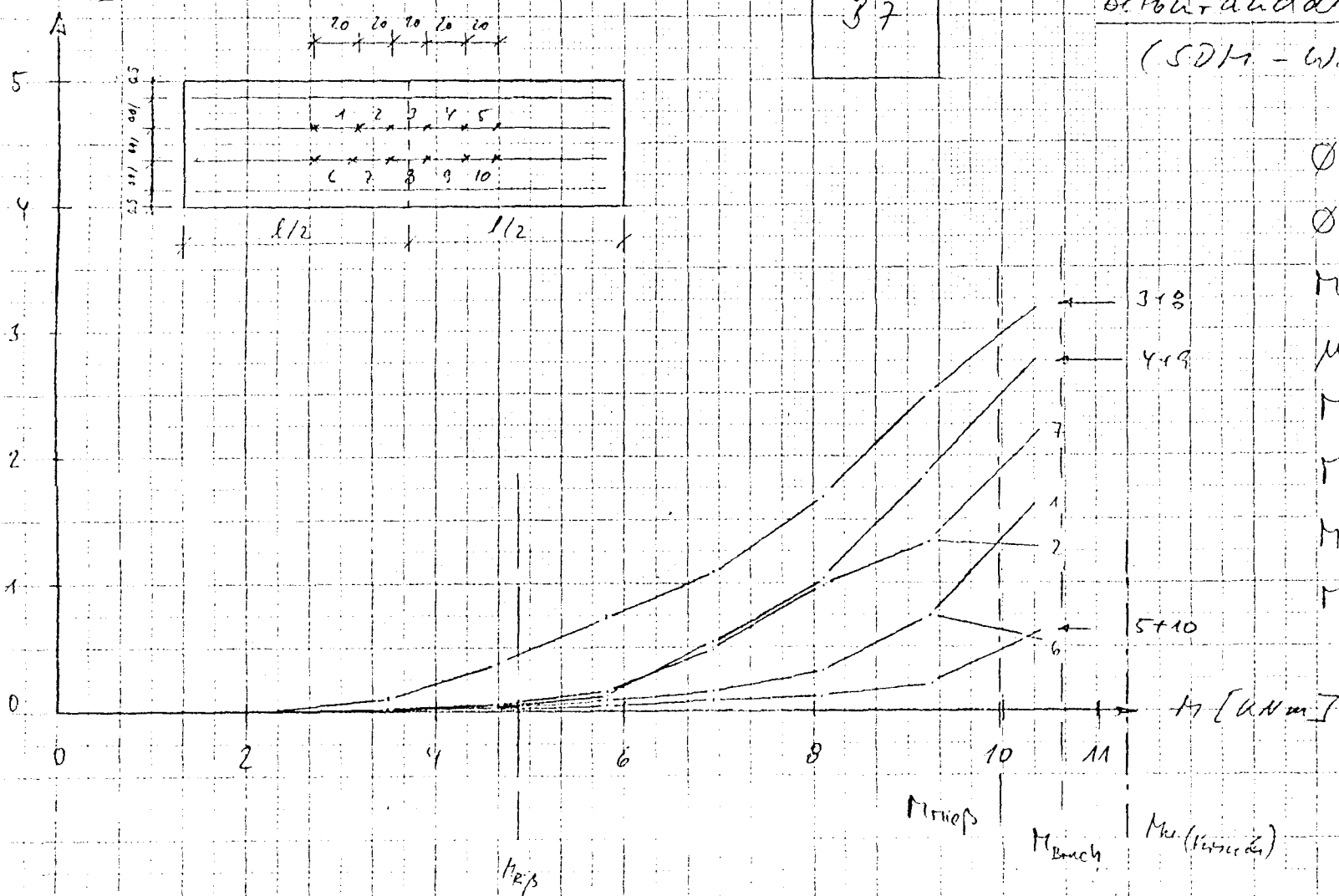
A6

Betonranddehnung im
(SDH - Werk.)



$\phi_L = 12,0 \text{ d}$
 $\phi_R = 12,0$
 $\text{Flasche } 100/250$
 $\mu_0 = 1,41$
 $M_{F.P.} = 5,58 \text{ kNm}$
 $M_{Flief} = 54,22$
 $f_{l,Bruch} = 60,39$
 $M_{Br.Ven.} = 64,42$

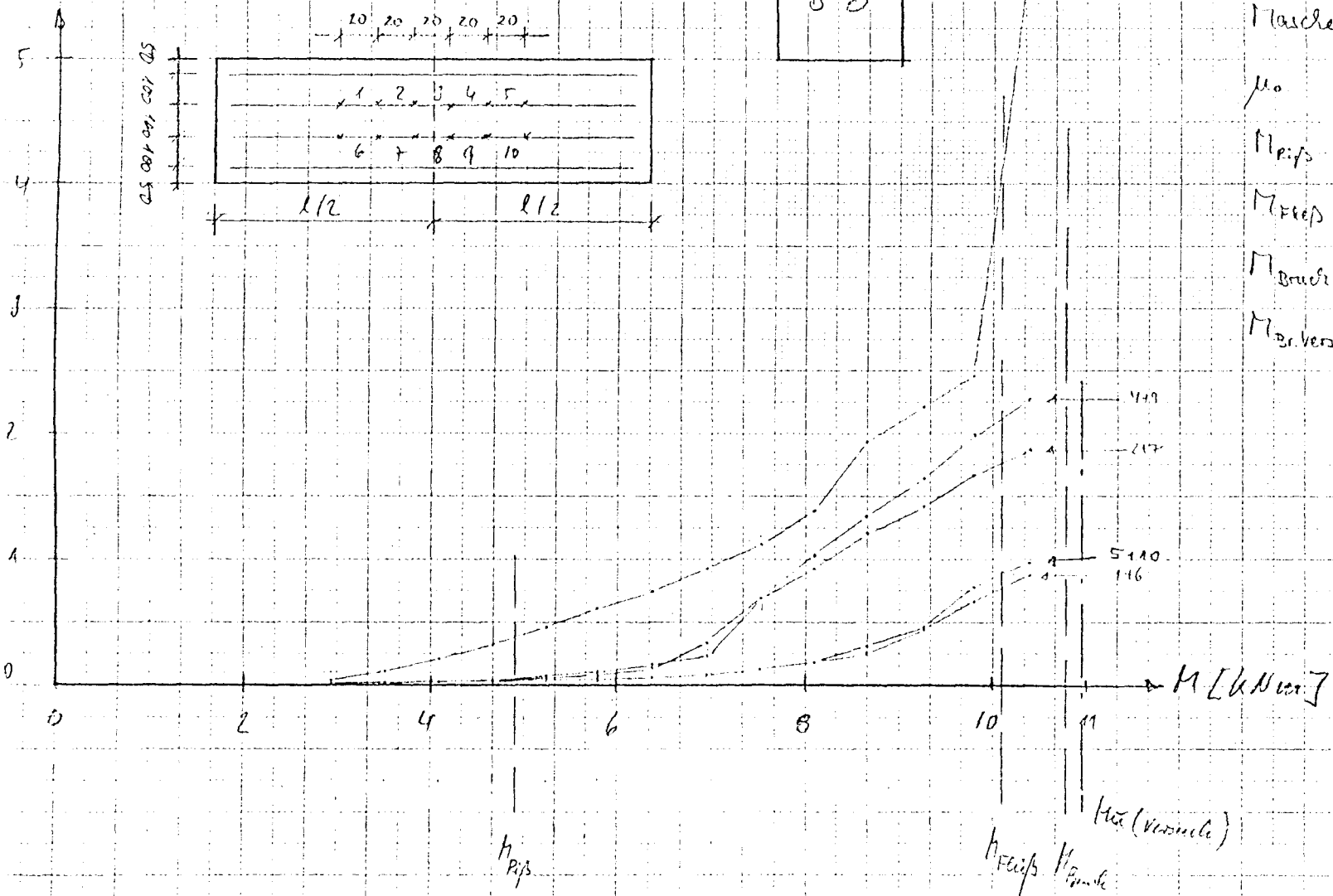
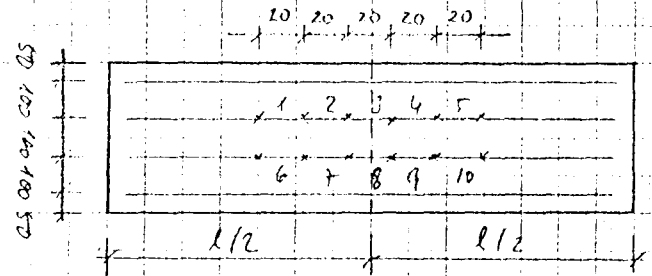
$\epsilon [‰]$



$\epsilon [‰]$

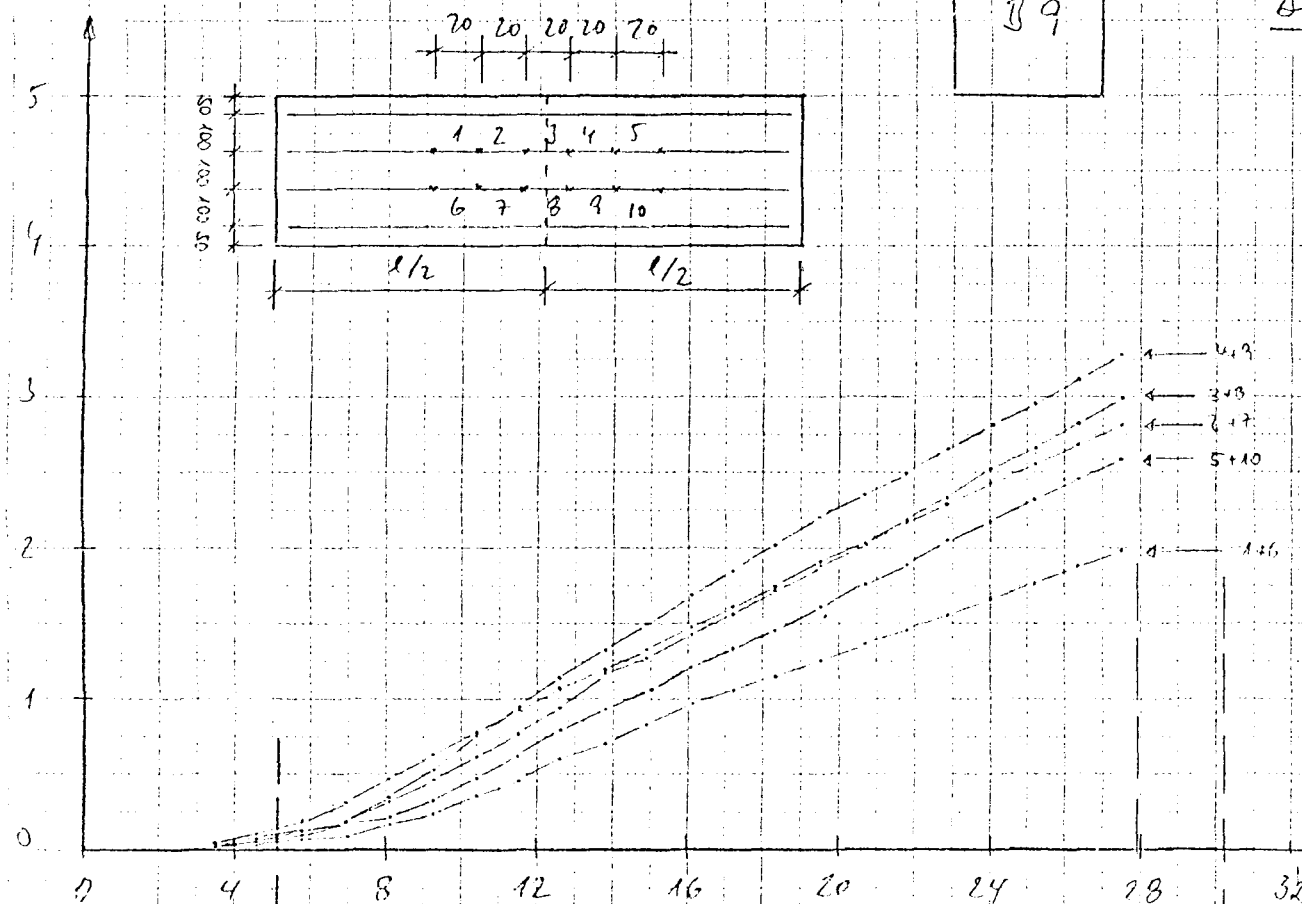
Betondehnung in
(SDM-Werte)

B3



- $\sigma_L = 4,5 d$
- $\sigma_R = 4,5$
- Flasche 100/250
- $\mu_0 = 0,194$
- $M_{Rf} = 4,89 \text{ kNm}$
- $M_{Rf,1} = 10,10 \text{ "}$
- $M_{Bruch} = 10,74 \text{ "}$
- $M_{Br,vers.} = 10,95 \text{ "}$

$\epsilon [‰]$



Betonranddehnungen
(SDM - Werte)

$$\phi_L = 8,0d$$

$$\phi_a = 70$$

Flasche 100/100

$$\mu_0 = 0,585$$

$$M_{Rip} = 5,13 \text{ kNm}$$

$$M_{Rup} = 27,97$$

$$M_{Bruch} = 20,48$$

$$M_{cr,vis} = 33,11$$

M_{Rip}

M_{Rup}

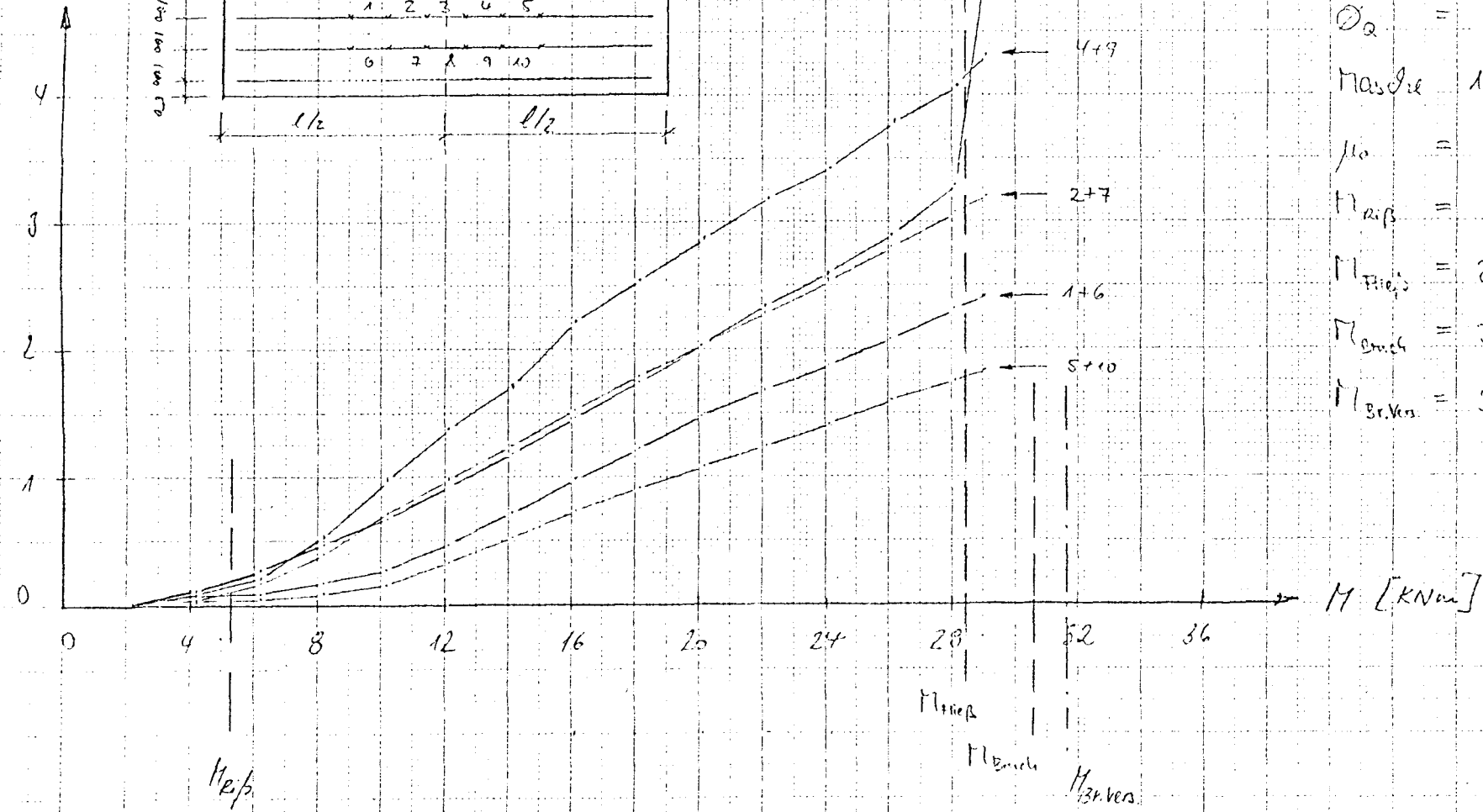
M_{Bruch}

$M_{cr,vis}$

310

Betonranddehnungen (SDR-Werte)

ϵ [%]



$$\sigma_L = 8,0$$

$$\sigma_R = 8,0$$

$$M_{as,el} = 100/250$$

$$f_{lo} = 0,584$$

$$M_{Rip} = 5,33 \text{ kNm}$$

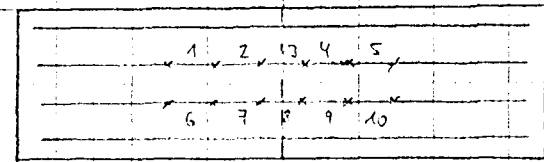
$$M_{Fließ} = 28,49$$

$$M_{Bruch} = 30,61$$

$$M_{Br.Vers} = 31,46$$

ϵ [‰]

50
100
150
200
250



B 11

Beton + angedehnte
(SDM-Werte)

- $\phi_s = 12,0 \text{ d}$
- $\phi_a = 10,0$
- Modul 100/100
- $\mu_0 = 1,465$
- $M_{\text{Rip}} = 5,77 \text{ kNm}$
- $M_{\text{Stoß}} = 59,62$
- $M_{\text{Bruch}} = 65,84$
- $M_{\text{Ervers.}} = 64,50$

4
3
2
1
0

0

8

16

24

32

40

48

56

64

72

M [kNm]

$1/\epsilon_s$

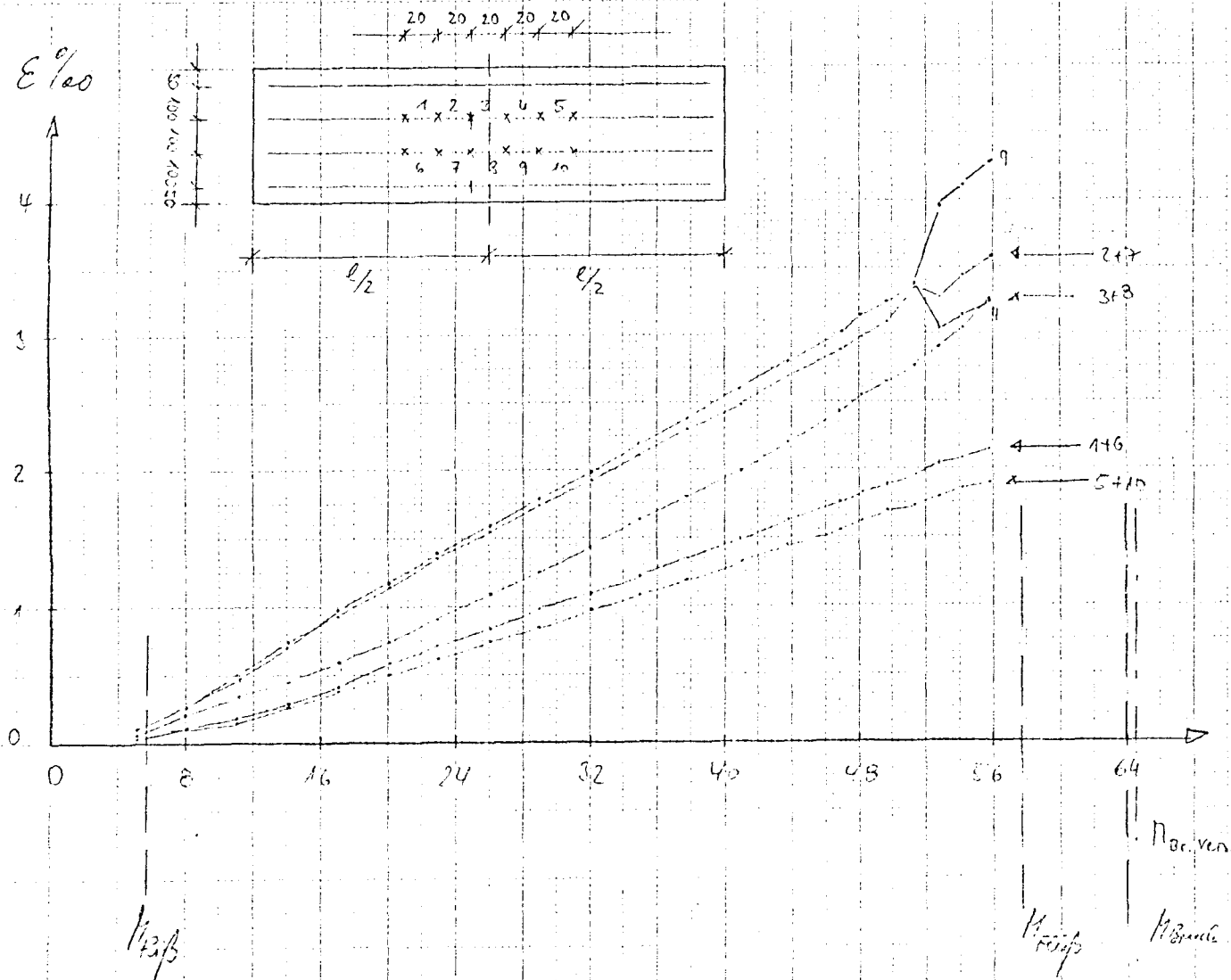
M_{Rip}

M_{Bruch}

$M_{\text{Ervers.}}$

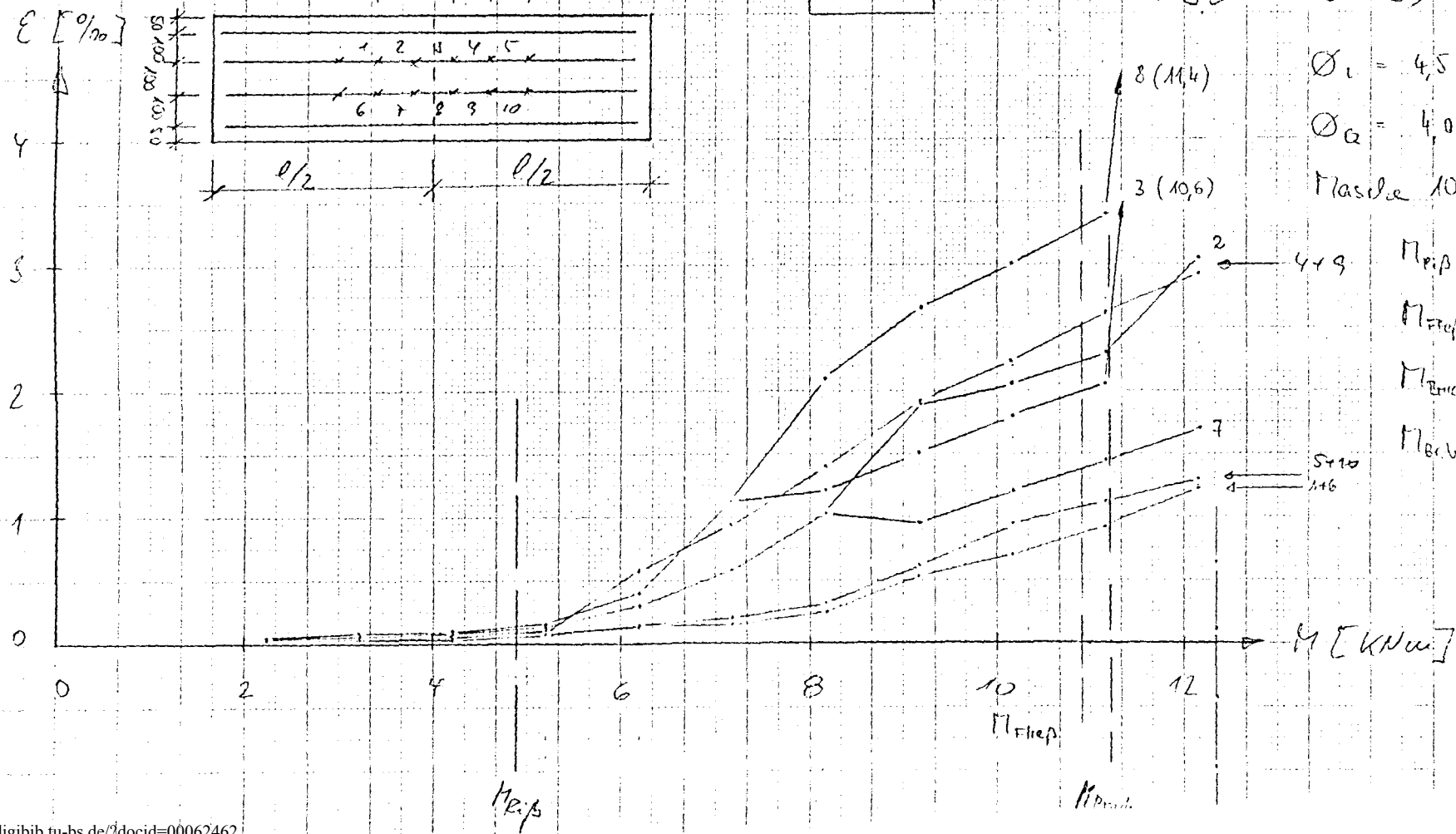
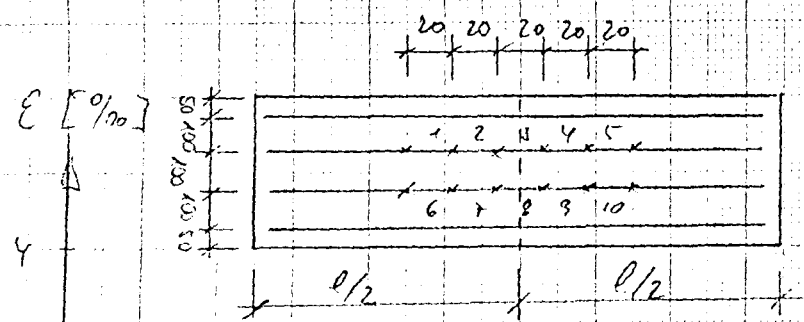
B72

Betour and Salimangar
(SD17-Waste)


$$\begin{aligned} \phi_L &= 12,0^\circ \\ \phi_{\text{co}} &= 12,0^\circ \\ \text{Masche} &= 100/250 \\ \mu_0 &= 1,458 \\ M_{\text{mp}} &= 5,86 \text{ kNm} \\ M_{\text{uep}} &= 37,89 \\ M_{\text{misch}} &= 63,94 \\ M_{\text{z. Ver.}} &= 64,50 \end{aligned}$$
 $M \text{ [kNm]}$

A 13

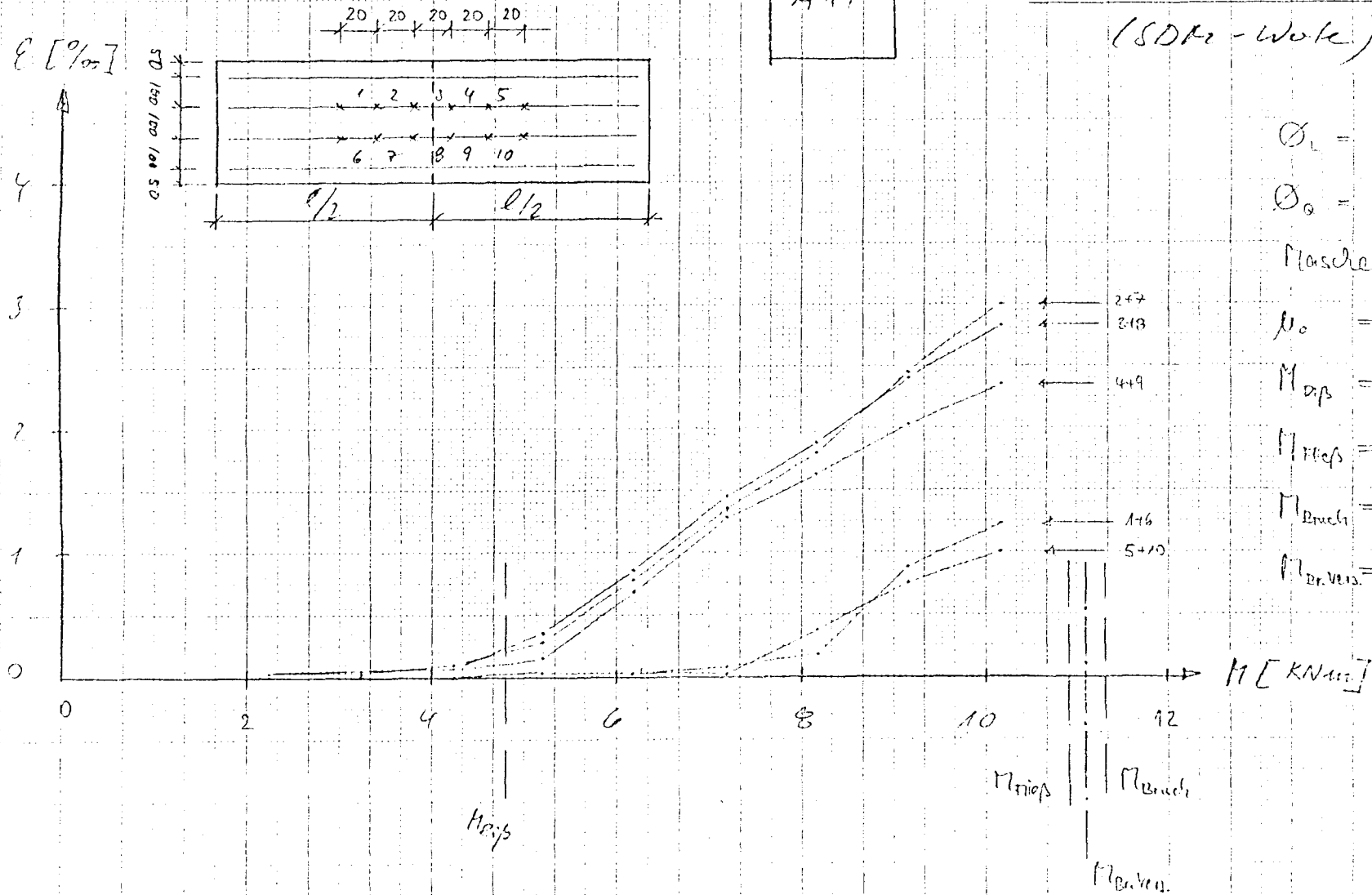
Betonrandabmessungen
(SDM-Werte)



$\phi_1 = 4,5d$
 $\phi_2 = 4,0$
 $\rho_{s,el} = 100/100$
 $M_{R,p} = 4,89 \text{ kNm}$
 $M_{R,u} = 10,91$
 $M_{R,u} = 11,25$
 $M_{R,u} = 12,35$

A 14

Setour and de launay



0. 4.5 d

$$\phi_0 = 4.5$$

Masche 100 / 2.50

$$\mu_c = 0,204$$

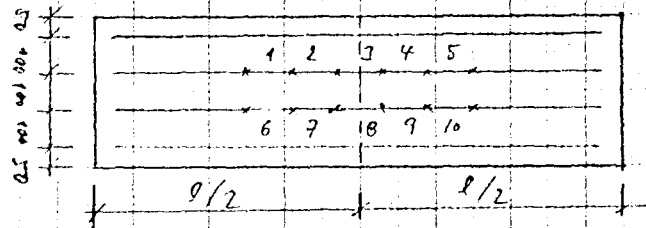
$$M_{ap} = 4,60 \text{ kNm}$$

$$\eta_{\text{recs}} = 10,92$$

$$M_{\text{Bruch}} = 11,32$$

$$P_{\text{Dr. Ver. 13.}} = 14,06$$

$\epsilon [‰]$



A15

Betonverformungen
(SDA-Werte)

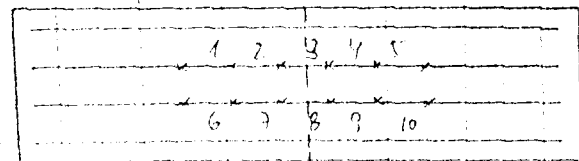
$\phi_L = 8,0 d$
 $\phi_a = 7,0$
Masche 100/100
 $\mu_o = 0,628$
 $M_{rip} = 5,24 \text{ kNm}$
 $M_{Tief} = 33,30 \text{ "}$
 $M_{Bruch} = 35,24 \text{ "}$
 $M_{Br.ver.} = 33,49 \text{ "}$

M_{rip}
 M_{Bruch}
 $M_{Br.ver.}$

$M [kNm]$

ϵ [%]

20
15
10
5
0



$l/2$ $l/2$

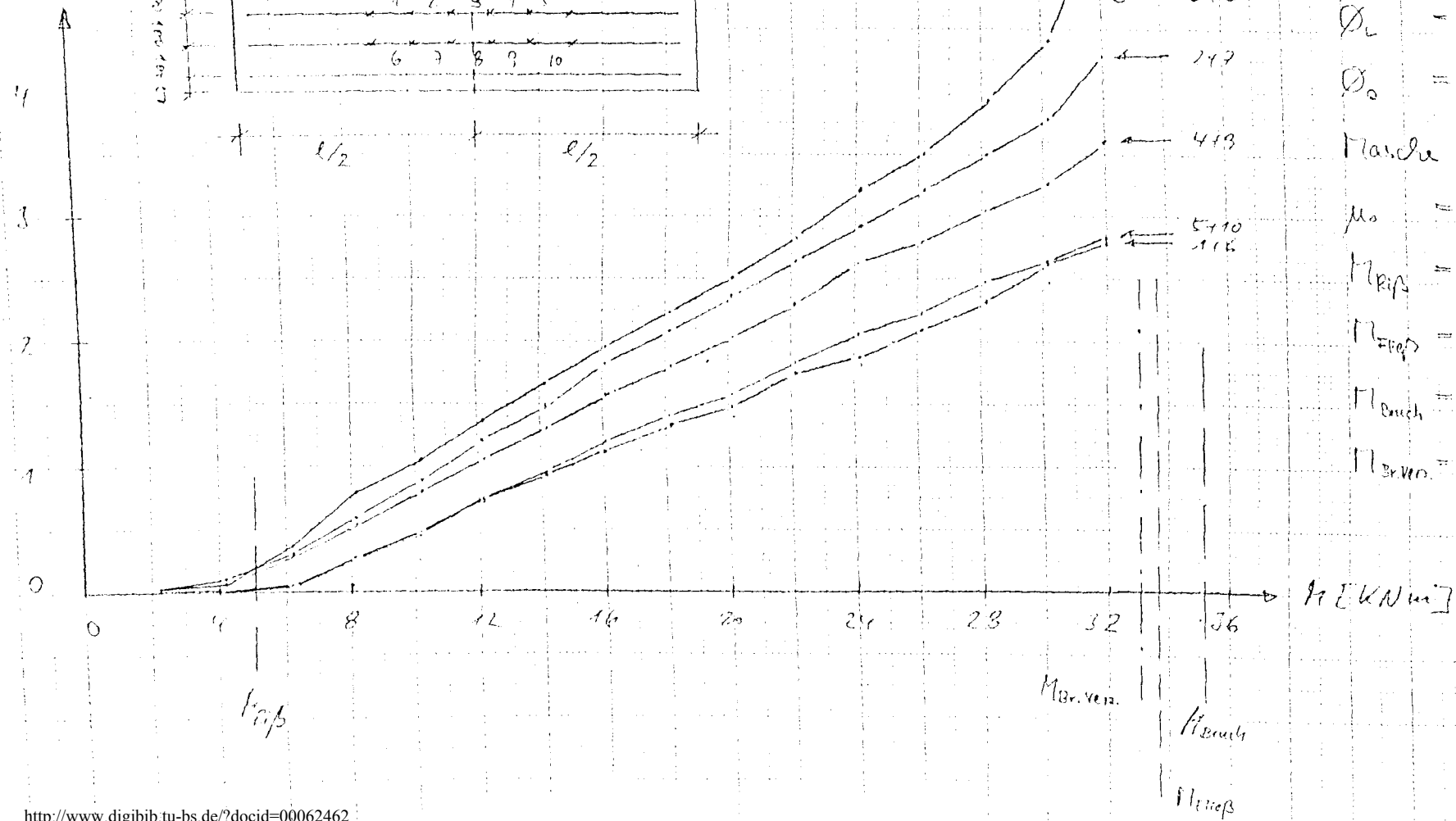
A16

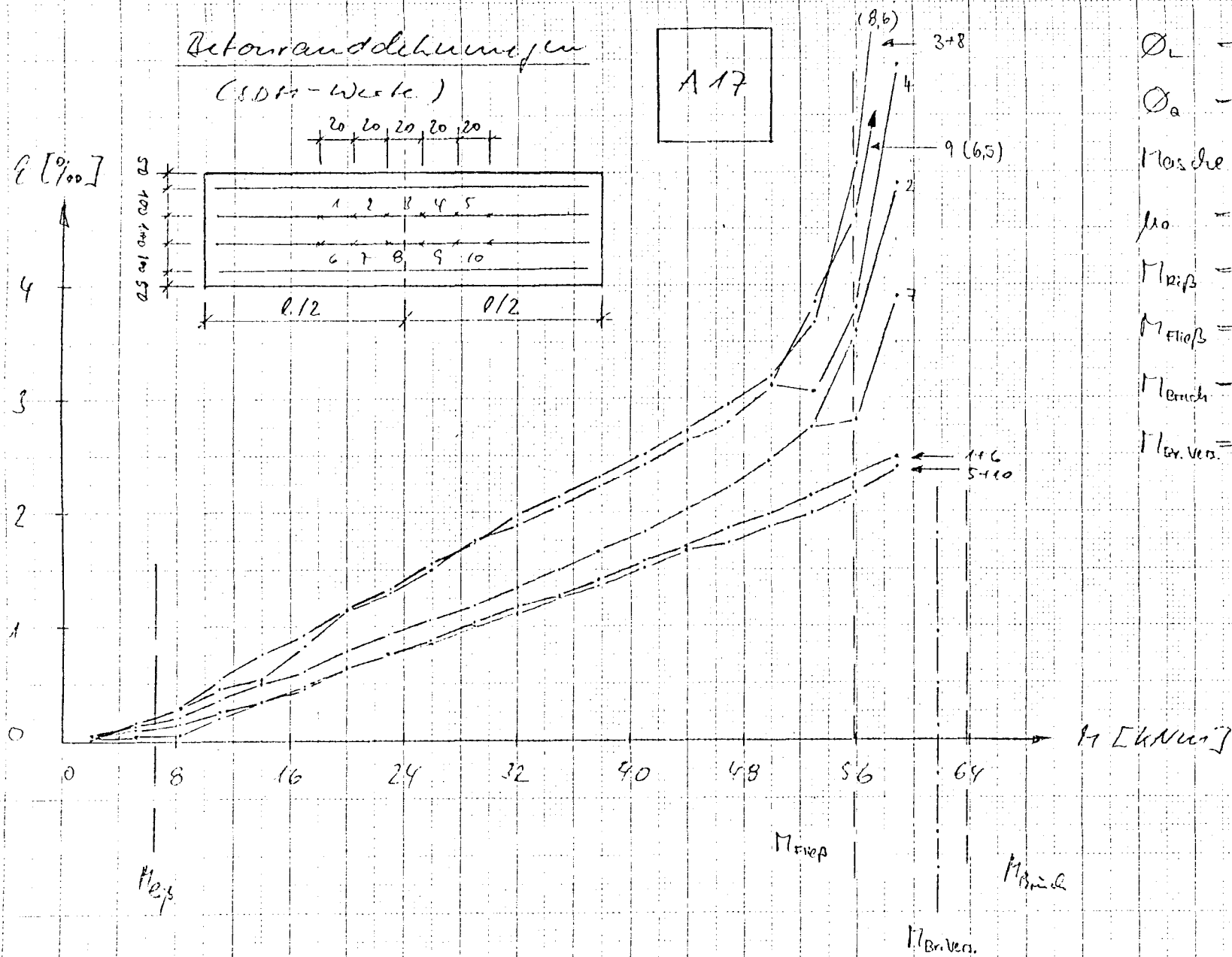
Dehn- und Dehnungen
(SDM - Werte)

(9,2)

3+8
1+7
4+3
5+10
1+6

$\phi_L = 8,0 d$
 $\phi_0 = 8,0$
Mandrel 100/250
 $\mu_0 = 0,525$
 $M_{Rip} = 5,16 \text{ kNm}$
 $M_{Flap} = 23,77$
 $M_{Bruch} = 35,15$
 $M_{Br.verz.} = 33,05$

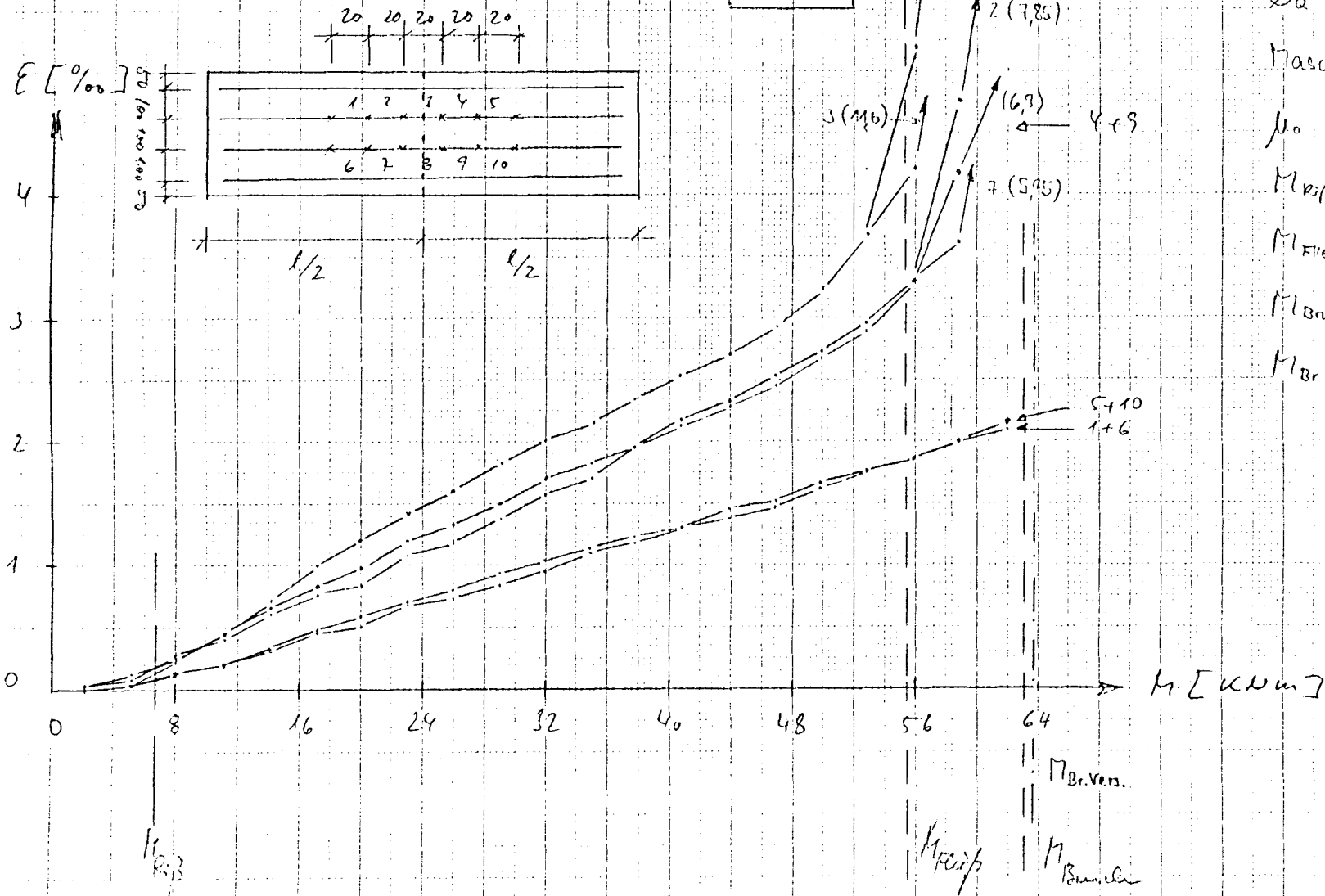




$\phi_L = 12,0 \text{ d}$
 $\phi_a = 10,0$
 Masche 100/100
 $\mu_o = 1,401$
 $M_{krip} = 6,23 \text{ kNm}$
 $M_{Fließ} = 55,84 \text{ "}$
 $M_{Bruch} = 63,89 \text{ "}$
 $M_{Br.Vers.} = 61,78 \text{ "}$

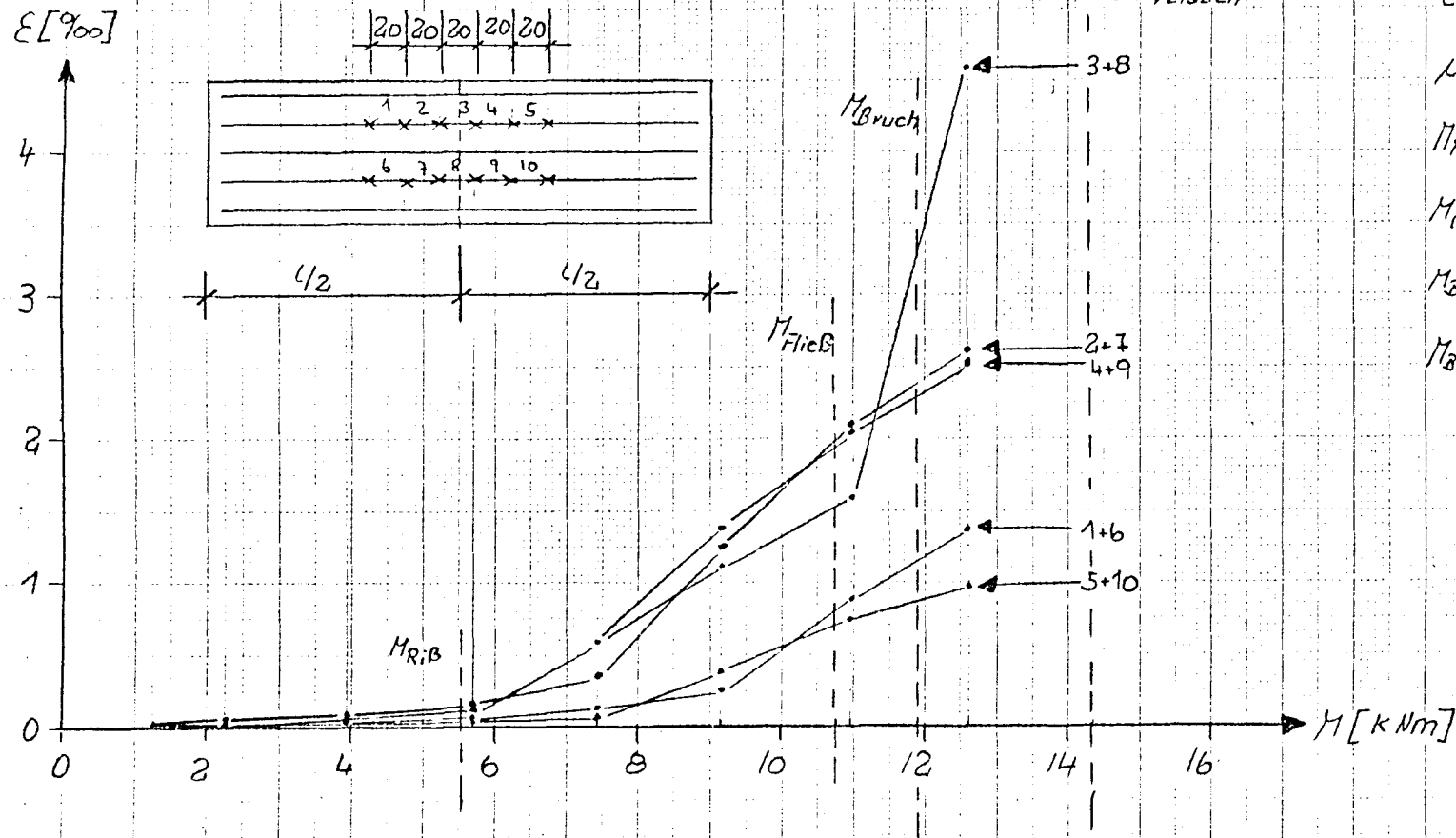
Betonanordnungen (SDM-Werte)

A18



$\phi_L = 12,0$ d
 $\phi_a = 12,0$
 Masche 100/250
 $\mu_0 = 1,410$
 $M_{Rip} = 6,24$ kNm
 $M_{Fließ} = 55,00$ "
 $M_{Bruch} = 62,98$ "
 $M_{Bruch, D.} = 63,77$ "

Versuch E19.6 Betonranddehnungen



$\phi_L = 6,0$ mm

$\phi_a = 6,0$ mm

$e = 25,0$ cm

$\mu_o = 0,229$ ‰

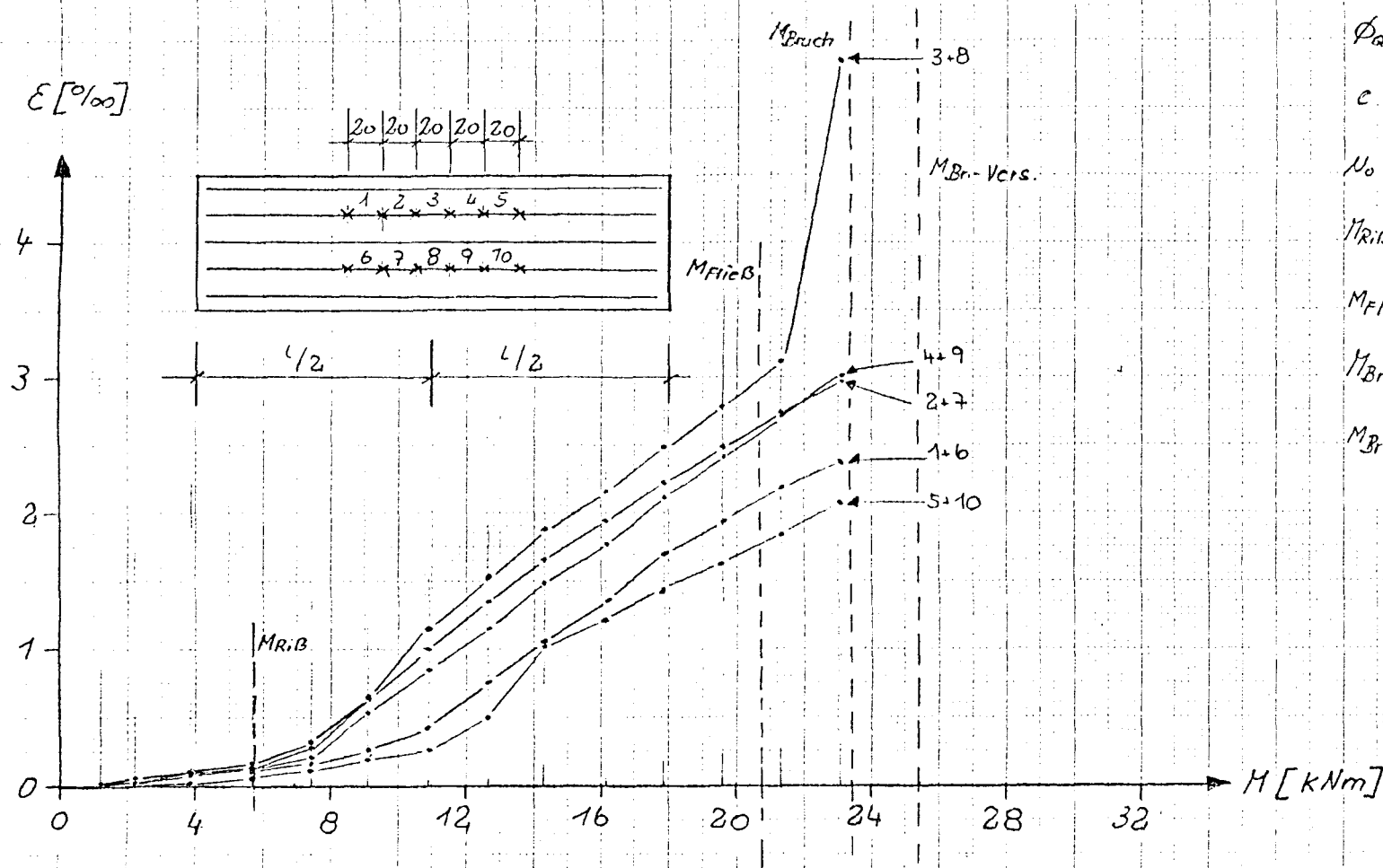
$M_{RiB} = 5,57$ kNm

$M_{FlieB} = 10,79$ "

$M_{Bruch} = 11,90$ "

$M_{an.Vers.} = 14,33$ "

Versuch E20 ϕ 8,5 Betonranddehnungen



$\phi_L = 8,5 \text{ mm}$

$\phi_a = 6,0 \text{ mm}$

$c = 25,0 \text{ cm}$

$\mu_o = 0,442 \text{ ‰}$

$M_{R,B} = 5,74 \text{ kNm}$

$M_{FließB} = 20,79 \text{ kNm}$

$M_{Bruch} = 23,39 \text{ kNm}$

$M_{Br-Vers} = 25,44 \text{ kNm}$

Versuch E19 ϕ 6 Betonrandstauchungen

$$\phi_L = 6,0 \text{ mm}$$

$$\phi_R = 6,0 \text{ mm}$$

$$c = 25,0 \text{ cm}$$

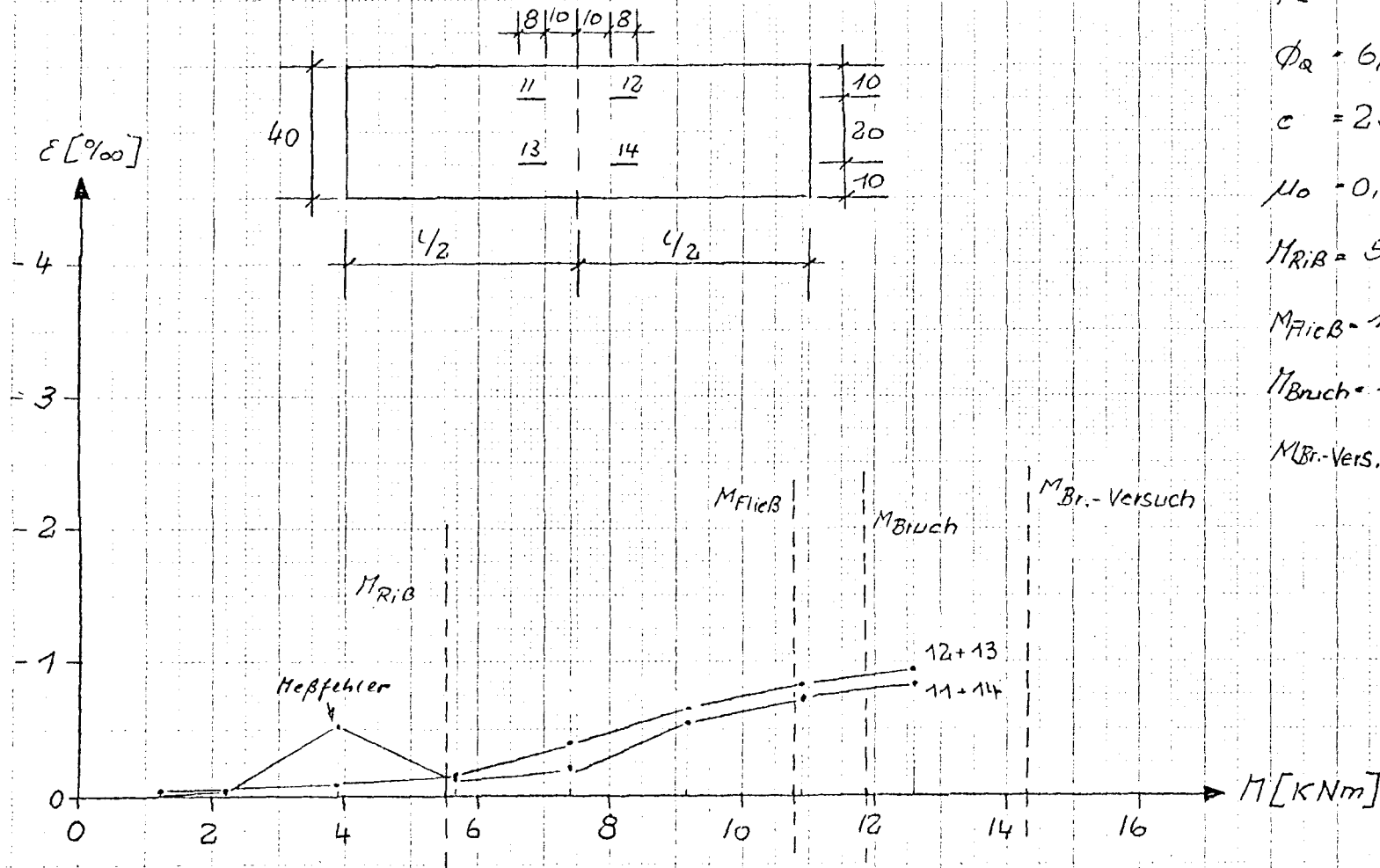
$$\mu_0 = 0,229 \text{ ‰}$$

$$M_{RiB} = 5,57 \text{ kNm}$$

$$M_{FlieB} = 10,79 \text{ "}$$

$$M_{Bruch} = 11,90 \text{ "}$$

$$M_{Br.-Vers.} = 14,33 \text{ "}$$



Anlage 5 (E19 u. E20)

Versuch E20 ϕ 8.5 Betonrandstärkungen

$$\phi_L = 8,5 \text{ mm}$$

$$\phi_a = 6,0 \text{ mm}$$

$$e = 25,0 \text{ cm}$$

$$\mu_0 = 0,442 \text{ ‰}$$

$$M_{RIB} = 5,74 \text{ kNm}$$

$$M_{Fließ} = 20,79 \text{ kNm}$$

$$M_{Bruch} = 23,39 \text{ kNm}$$

$$M_{Br-Vers.} = 25,44 \text{ kNm}$$

